

Я. М. ОХРИМЕНКО

ТЕХНОЛОГИЯ КУЗНЕЧНО- ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Издание второе,
переработанное и дополненное

Д о п у щ е н о
Министерством высшего и среднего специального
образования СССР в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся
по специальностям «Обработка металлов
давлением» и «Машины и технология
обработки металлов давлением»



Москва

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1976

6П4.2

О-92

УДК 621.73 : 621.735 (075.8)

Рецензент:

*Кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»
МВТУ им. Н. Э. Баумана*

Охрименко Я. М.

Технология кузнечно-штамповочного производства.
Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машино-
строение», 1976.

560 с. с ил.

В учебнике даны основные сведения о традиционных и новых технологических процессах кузнечно-штамповочного производства. Описаны разновидности процессовковки и штамповки, конструкции рабочего инструмента и основы его проектирования, а также технико-экономические сведения об эффективности производства кованных и штампованных поковок. Рассмотрены режимыковки и штамповки.

О $\frac{31205-077}{038 (01)-76}$ 077-76

6П4.2

© Издательство «Машиностроение», 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ковка и штамповка поковок деталей машин, инструмента и других металлоизделий являются древнейшими процессами металлообработки, но и в наше время эти процессы наиболее распространены из-за их высокой производительности, экономичности и качества продукции.

Экономное расходование металла при изготовлении поковок заложено в самой идее пластического формоизменения при обработке давлением, которая состоит в преобразовании заготовки простой формы в поковку более сложной формы того же объема. Отходы производства поковок не присущи технологииковки, штамповки и большее или меньшее их количество характеризует лишь степень достигнутого технического совершенства данного способа производства поковок.

Возможность использования высоких и даже сверхвысоких скоростей деформирования, быстроходность современных кузнечных машин и небольшое число необходимых относительно несложных технологических операций обуславливает кратковременность рабочего цикла и высокую производительность кузнечно-штамповочного производства. Кованые и штампованные изделия отличаются высокими механическими свойствами. Общеизвестно, что лучший металл — это металл деформированный и затем термически обработанный.

Достигнутый уровень кузнечно-штамповочного производства определяет индустриальную мощь страны, возможность быстрого, качественного и экономичного создания самых современных летательных аппаратов, транспортных и грузоподъемных машин, мощных энергетических установок, современных средств обороны и другой новейшей техники, включая электронную и космическую. Чем выше потенциальные возможности производства, тем более важны задачи его совершенствования. К высокоперспективным производствам можно отнести производства на базе процессовковки и штамповки, являющихся одними из важнейших в технологии машиностроения, приборостроения и других самых современных отраслях промышленности.

Современному инженеру-технологу, специалисту в области кузнечно-штамповочного производства приходится решать сложные вопросы оптимизированного формообразования поковок, применяя ЭВМ, используя сведения из теории обработки металлов давлением и знания в областях расчета и проектирования технологической оснастки, механизации и автоматизации производства, научной организации и управления им. Все эти вопросы должны и могут решать высококвалифицированные инженерные кадры, обладающие необходимыми теоретическими и практическими знаниями, приобретенными в высшей школе при изучении общинженерных и профилирующих дисциплин: экономики и организации производства, техники нагревания металла и нагревательных устройств, основ механизации и автоматизации производства, теории и практики работы электронно-вычислительной техники, оборудования кузнечно-штамповочного производства, теории обработки металлов давлением, а также теории и технологии производства поковок.

Как отмечалось в предисловии к 1-му изданию учебника, для выработки у студентов технико-экономической оценки разновидностей технологических процессов последние были сгруппированы по принципу серийности производства поковок (процессы единичного, мелкосерийного, серийного, крупносерийного и массового производств). Одновременно технологические процессы были объединены в группы по виду применяемого инструмента (бойки плоские, вырезные, штампы открытые, закрытые), а также по типу используемого оборудования (молоты, прессы, горизонтально-ковочные машины и т. д.).

Во 2-м издании учебника указанное подразделение сохранено. Кроме того, для углубленного изучения технологии объемной штамповки принято раздельное рассмотрение схем технологических процессов (гл. V) и их разновидностей применительно к типам оборудования (гл. VI). При таком изучении процессов удастся рассмотреть вначале каждую технологическую схему без учета влияния на нее факторов, превносимых конструктивными особенностями и кинематикой отдельных типов машин с тем, чтобы затем установить и оценить роль типов используемого оборудования в применяемой технологии.

Во 2-е издание внесены изменения и дополнения, связанные с появлением новых и усовершенствованием существующих технологических процессов и операций ковки, штамповки, расширением специализации при изготовлении кованных и штампованных поковок, использованием новых материалов для поковок и инструмента, усовершенствованием теплового и деформационного режимов производства поковок, внедрением новых типов штампов и кузнечных бойков и т. д.

При изложении отдельных вопросов технологии кузнечно-штамповочного производства автор стремился раскрыть сущность каждого процесса, определить его место в общей системе обработки металлов давлением и установить границы рационального использования в производстве поковок различных серийности и назначения.

Изменения и дополнения, внесенные во 2-е издание учебника, вызваны также обновлением учебных программ по изучению технологии кузнечно-штамповочного производства.

Глава I

РАЗВИТИЕ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Древнерусский период

Наиболее древние найденные изделия из золота изготовлены 8000 лет назад. Позднее были обнаружены изделия из самородного серебра и меди. В первобытную эпоху использовали метеоритное железо.

Однако эра металлов наступила позднее, когда человек научился выплавлять, лить и ковать их. Первые изделия из рудного железа были получены около трех тысяч лет назад. На территории нашей страны металлургия железа зародилась в Средней Азии и Закавказье немногим меньше трех тысяч лет назад. На несколько сот лет позднее освоено получение железа уральскими племенами. Первые находки железных изделий встречаются на Урале и относятся к концу бронзового века. Трудности изысканий в этой области связаны с тем, что железо быстро окисляется и сохраняется в земле хуже других металлов, особенно во влажной почве, тогда как в сухой почве оно сохраняется дольше и лучше.

Недавно сообщалось о находке пары кованых железных шпор в Югославии, которые пролежали в сухом песчаном грунте 2200 лет.

Поддавляющее большинство древних ремесел на территории нашего государства было связано с использованием железного или стального кованого инструмента, который часто при раскопках находят вместе с предметами бытового, военного и охотничьего назначений, изготовленными древними кузнецами. Древние мастера ковали свою продукцию различными способами. Специалисты-археологи, используя научные методики, определяют с высокой степенью достоверности даты и места производства каждого найденного изделия.

В IV—V вв. кузницы строили отдельно от жилья (например, городище Березняки), некоторые из них были очень крупными по масштабам тех времен.

Вблизи г. Никополя открыто поселение металлургов и кузнецов скифского племени (Каменское городище), где обнаружены остатки плавильных и кузнечных горнов, заготовки кричного железа, инструмент для их обработки, и также железное оружие, предметы бытового назначения и различные украшения.



*Рис. 1. Инкрусти-
рованный кованый
наконечник древне-
русского копья*



Рис. 2. Шлем князя Ярослава Всеволодовича

Одна из последних раскопок в славянском поселении Алчедар позволила обнаружить десятки домниц для плавки железа, сотни керамических сопел для дутья и т. д. причем территория ремесленников-металлургов превышала 100 га.

Наименее изучены древнерусские металлообрабатывающие ремесла VII—VIII вв. Однако домонгольский период (IX в. до середины XIII в.), охватывающий создание Киевского государства вплоть до нашествия монголов на Русь, основательно исследован и картина развития кузнечного ремесла того периода достаточно ясна. Еще более исследована промышленность древней Руси, начиная со времени ее освобождения от монгольского ига и в последующие века. При изучении продукции кузнечного ремесла и применявшихся для этого инструментов оказалось возможным воспроизвести технологию древнерусского кузнечного производства и довольно полно представить относительно высокую культуру различных ремесел древней Руси, особенно ко времени образования Русского государства (XV в.).

Установлено, что в древней Руси наряду с железом использовали и сталь (оцел или харалуг). «Трещат копия харалужныя» читаем мы в «Слове о полку Игореве». С булатной сталью русские мастера были знакомы уже в X в. В древних трудах (например, хорезмского ученого Ал-Буруни, 1048 г.) упоминается об умении русских кузнецов отковывать оружие (мечи) из сырдутного железа со вставным стальным лезвием. Цементацию и термическую обработку применяли в том же веке. Для получения изделий больших и сложных форм применяли сварку. По расчетам Б. А. Колчина («Черная металлургия и металлообработка в древней Руси». Изд-во АН СССР, 1953), потребление стали из железа находилось в соотношении 1 : 10. Потребляемая сталь была преимущественно доэвтектоидного и только в редких случаях заэвтектоидного состава.

Основным оборудованием кузниц древней Руси были кузнечный горн и меха, в качестве инструмента использовали наковальни, кувалды или «млата», зубила, бородки, клещи шарнирные и т. п. Наковальни массой 8—15 кг имели прямоугольную рабочую поверхность с отростком в виде одного или двух рогов для фигурных работ и заостренное основание. Использование наковален с плоским основанием относится к более позднему времени. В специализированных кузницах применяли гвоздильни, обжимки и даже подкладные штампы. Изготавливали предметы бытового назначения, оружие, инструментарий и различные производственно-ремесленные приспособления.

Большое место среди предметов древнерусского кузнечного производства принадлежит кованому оружию. Основным массовым оружием древнерусского войска были копья и мечи. Копьями вооружали всех воинов. Среди археологических находок наконечники копий — часто встречающееся изделие. На рис. 1 показан кованый инкрустированный наконечник копья древнерусской работы. Длина подобных копий составляла 100—650 мм, а вместе с древком — 1,5—2,0 м. Копье служило для колющего удара, в отдельных случаях в него вваривали либо цементированные, либо термически обработанные стальные лезвия. Технология их изготовления проста, поскольку наконечник получали с заостренной частью, которую вгоняли в древко копья или стрелы. Однако известно и более сложное, втульчатое крепление стрел. Кроме перечисленных видов оружия применяли боевые топоры, булавы, а для защиты — кольчуги, щиты и шлемы. Щиты и шлемы обычно делали составными. Шлемы в IX—X вв. изготавливали сборными на заклепках, в XII в. — уже штампованными со следами ручной выколотки. На рис. 2 показан шлем, по мнению специалистов, принадлежавший князю Ярославу Всеволодовичу и утерянный им во время Литовской битвы в 1216 г. (рис. 2).

Среди находок имеются кованые серпы, косы и различные инструменты для обработки дерева, камня и железа.

2. Дореволюционный период

На каждом этапе развития металлургии и металлообработки коренным образом изменялась технология производства, что сопровождалось увеличением производительности труда, расширением масштаба производства, укрупнением и усложнением изготавливаемых изделий, качество которых также повышалось.

Кузнечное ремесло, осуществлявшееся преимущественно вручную и при помощи примитивных инструментов, — это первый этап развития металлургии и металлообработки. Он заканчивается примерно в середине XIV в., когда сыродутный процесс производства железа производительностью 0,5—0,6 кг сварочного железа в час уступил место двухступенчатому способу получения железа (доменный и кричный процессы) производительностью 40—50 кг сварочного железа в час, что означало примерно стократное увеличение производительности. На втором этапе развития совершенствуется и кузнечное производство, поскольку вместо ручнойковки широко применяетсяковка на приводных молотах от всдйных колес, что позволяет значительно увеличить массу поковок и производительность кузниц. На третьем этапе, относящемся к концу XVIII в. и в более поздний период, когда металлургическая промышленность переходит на минеральное топливо, в кузнечном производстве вместо рычажных молотов с приводом от водяных колес начинают применять канатные и паровые молоты, винтовые и гидравлические прессы. Появление новых машин-орудий и средств механизации в кузнечном производстве приводит к совершенствованию технологии изготовления поковок такими способами, какковка, горячая штамповка и даже калибровка.) Большие достижения в развитии кузнечной технологии связаны с почти одновременным внедрением в сталеплавильное производство бессемеровского, мартеновского и томасовского процессов производства стали (в конце XIX в.), производительность которых (для конвертеров) составляла вначале 6 т/ч. Промышленное применение этих процессов производства стали, существующих и до настоящего времени, способствовало переходу от мелкомасштабного кузнечного производства к относительно крупномасштабному, при этом использовалось крупногабаритное оборудование: молоты с массой падающих частей 50—100 т, гидравлические прессы усилием 70 кН (7000 тс). Затем стали использовать оборудование с электроприводом.

Ниже дан обзор развития кузнечного производства в дореволюционной России.

Кустарное кузнечное ремесло постепенно превращается в обособленное производство, обслуживаемое большими группами мастеровых людей-кузнецов. В XVI в. были не только «вольные», но и «казенные» кузнецы. Интересный материал о возникновении, распространении и развитии кузнечного производства, в том числе

и штамповки, приведен в книге акад. И. Х. Гамеля («Описание Тульского оружейного завода в историческом и техническом отношении». М., 1826).

В указанной работе упоминается, например, что в 1595 г. Тульские самопальные мастера-кузнецы (30 человек) жили и работали отдельно от гражданского населения, изготавливая оружие для казны. Об этом можно прочитать и в строевой книге посадского головы Семена Ивашкина за указанный год, а в 1895 г. газета «Правительственный вестник» (№ 280 от 22 декабря) отметила трехсотлетие Тульского оружейного завода. Однако с учетом начального полукустарного способаковки и обработки деталей оружия и по другим причинам дату открытия Тульского оружейного завода отнести к 1712 г.

В начале XVII в. (1619 г.) в Нижнем Новгороде изготавливали большое число пищалей силами местных кузнецов и села Павлова. В 1628 г. существовали уже кованые пушки, изготавливаемые, в частности, устюжскими кузнецами. Железные кованые пушки имели более продолжительный срок службы и были дешевле в изготовлении по сравнению с литыми чугунными.

Преимуществоковки становится все более очевидным, поэтому кузнечное производство в России получает небывалое до того времени развитие. Заводы, создаваемые преимущественно для производства оружия (Тульский, Сестрорецкий, Ижевский), были первыми металлообрабатывающими заводами, не связанными непосредственно с металлургическим производством, и работали, таким образом, на доставляемом сырье. Городищенский доменный завод, основанный в 1632 г., был первым доменным заводом Московского государства, на котором железные заготовки ковали с помощью вододействующих молотов. В последующие годы были созданы заводы в Московской (1648 г.), Калужской (1655 г.), Олонецкой (1674 г.) и других губерниях. Наряду с оружием заводы изготавливали сельскохозяйственный инвентарь и различные предметы бытового назначения (заводы Каширского уезда, 1652 г.). Продукцию русских заводов продавали и за границу. Так, в 1646 г. через Архангельск в Голландию было отправлено 600 пушек, а в 1647 г. — 360 пушек с ядрами 4,6 и 8 фунтов производства Городищенского завода.

На тульских оружейных заводах обучались мастера других заводов, в частности Никита Демидов, который впоследствии передал опыт по изготовлению оружия сибирским заводам (1700 г.) Завод с более высокой технической культурой был построен в Туле по указу Петра I от 1712 г. на первом казенном оружейном дворе. Машины строили кузнец Марк Сидоров и изобретатель Яков Батищев. В 1737 г. Тульский завод был переделан, а затем еще несколько раз усовершенствован в течение XVIII столетия.

Представление о кузнечных цехах того времени дает рис. 3, на котором видна система подвода воды (коробчатого типа) к трем водяным колесам. Два из них (в левой части рисунка) обслуживают работу мехов, предназначенных для подачи дутья в двухочаговый горн. Третье приводное водяное колесо (в правой части рисунка) обеспечивает работу рычажного молота, ударяющего автомати-

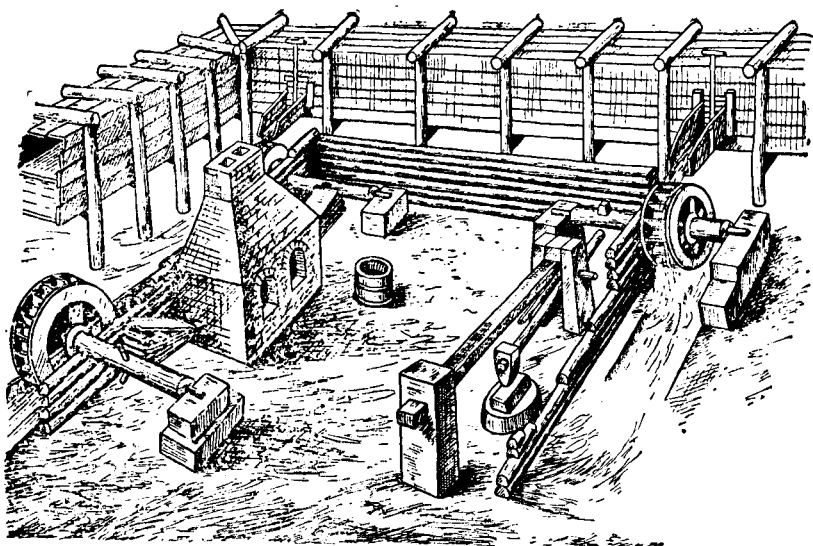


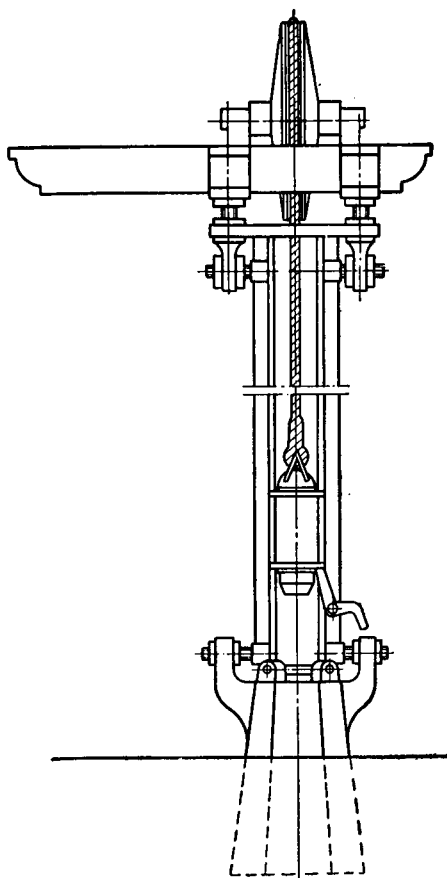
Рис. 3. Общий вид старинной кузницы с рычажным молотом, действующим от водяного колеса (со старинной гравюры)

чески по заготовке (она не показана), находящейся на прямоугольной наковальне, которая в свою очередь размещается на круглой деревянной шаботной подставке, покоящейся на фундаменте. Водяные колеса приводились в действие при помощи шиберных задвижек к коробчатому водопроводу (на рис. 3 их 2 шт., слева и справа). Число ударов молота в единицу времени регулировалось подачей воды на колесо и зависело от числа кривошипных пальцев, расположенных на валу приводного колеса (они видны на приводах молота и мехов). При массе падающих частей до 400 кг число ударов достигало 200 в минуту. Эти молоты применяли дляковки. Штамповали ручным способом или в подкладных штампах. Пришедшее на смену вододействующему оборудованию машинное привело к появлению машинной штамповки.

Для горячей штамповки (в то время одноручевой) в качестве машин-орудий применяли винтовые прессы и различные молоты простого действия, подъем бабы у которых осуществлялся с помощью каната или цепи, перекидываемой через блочное подъемное колесо (рис. 4).

В упомянутой выше книге И. Х. Гамеля говорится, что Тульский оружейный завод «находится на такой степени совершенства, каковая не существует даже на лучших ружейных фабриках в Англии», которая по тем временам была ведущей промышленной страной. Завод широко применял горячую штамповку деталей оружия, которая обеспечивала при сборке взаимозаменяемость

Рис. 4. Штамповочный молот, применявшийся на Тульском оружейном заводе в начале XIX в. (чертеж крестьянина Л. Федорова, гравировка по меди А. Фролова)



частей оружия. Используя штамповку на Тульском заводе при изготовлении ружей и пистолетов, по утверждению И. Х. Гамеля, было «достигнуто совершенное единообразие частей замка, которое в других государствах почиталось невозможным». В то время на Тульском оружейном заводе работало более 3000 мастеровых. Кроме того, к заводу были приписаны более 3,5 тыс. крестьян, использовавшихся на транспортных работах, заготовках дров, изготовлении древесного угля, тесании ружейных лож и на других работах.

Обработка металла свободной ковкой достигла значительного совершенства, но поскольку поверхностьковки требовала значительной ручной обработки, детали оружия не могли быть взаимозаменяемыми. Холодную штамповку применяли с очень давних времен, например при производстве монет и медалей из меди, серебра и золота, а также частично при обработке железа. Однако значительных деформаций без нагрева железа осуществить не удавалось и, таким образом, проблема одинаковости изделий была еще не решена.

Первым, применившим в России горячую штамповку железа на промышленном оборудовании, очевидно, нужно считать оружейника Тульского завода Василия Пастухова, который около 1800 г. проводил экспериментальную горячую штамповку черных металлов на винтовом вертикальном прессе с маховым рычагом массой около 2 т. На Сестрорецком заводе примерно в то же время применили чеканку и выглаживание откованных вручную железных изделий. В 1819 г. на Тульском заводе была уже внедрена одноручевая молотовая штамповка отдельных оружейных деталей из железа. Хотя некоторые детали штампов были еще не обрабо-

таны, однако в основном процесс горячей штамповки напоминает современную одноручьевую штамповку на молотах простого действия.

Для некоторых поковок применяли штамповку с последующей правкой (после обрезки заусенца) или даже с повторной штамповкой (но без вторичной обрезки заусенца). Падающие молоты, применявшиеся для горячей штамповки, имели следующее устройство (рис. 4). Шабот массой немного более 2 т устанавливали на твердый грунт. Две стойки, закрепленные внизу на шаботе, сверху были связаны в жесткую раму. Бабу массой от 32 до 64 кг подвешивали на канате, проходившем через подъемный блок. На другом конце каната находилось стремя, в которое ставил ногу один из двух-трех рабочих, поднимавших бабу. На шаботе имелись приливы, через которые были пропущены винты, укреплявшие нижнюю часть штампа. Верхнюю часть штампа привинчивали к бабе. Откидной рычаг служил для того, чтобы вне работы баба находилась на весу.

Таких молотов на Тульском заводе в кузнице было четыре — это обычные молоты простого действия или падающие канатные, применявшиеся до недавнего прошлого. Подготовка заготовок (фасонирование) производилась на двух горновых установках с двойными мехами, каждый из которых обслуживал кузнец и молотобоец. Все штамповочное оборудование было установлено в отдельном помещении.

Заусенцы обрезали на винтовом прессе (рис. 5). Пресс смонтирован в чугунной станине-раме 6, помещавшейся на деревянном фундаменте 11. Рама имела отверстие для установки массивной гайки 5, в которую ввинчивался на рабочем ходу и вывинчивался на обратном ходу двухходовой винт 4.

На нижнем конце винта 4 находился сухарь 7, который вместе с ползуном и обрезающим инструментом 3 проходил в отверстие 1 направляющего хомута 2, закрепленного к станине-раме 6. Обрезную матрицу 10 помещали у основания рамы и крепили четырьмя болтами. Рычаг 8 (ворот) и грузы 9 служили для приведения пресса в действие.

Таких прессов было всего двенадцать. Из них три пресса больших, один — среднего размера и восемь малых. Эти прессы применялись не только для обрезки заусенца, но и для прорезки в деталях различной формы отверстий. Двенадцать прессов обслуживали пять кузнецов.

Подобные прессы применяют и в настоящее время, но не для обрезки заусенцев, а для штамповки, причем привод у них обычно фрикционный, почему они и называются теперь винтовыми фрикционными прессами.

Штампы (рис. 6) имели примитивную форму, однако фигура ручья обеспечивала настолько точные и близкие к окончательным размеры изделий, что гарантировало полную взаимозаменяемость частей оружия лишь после незначительной их механической обра-

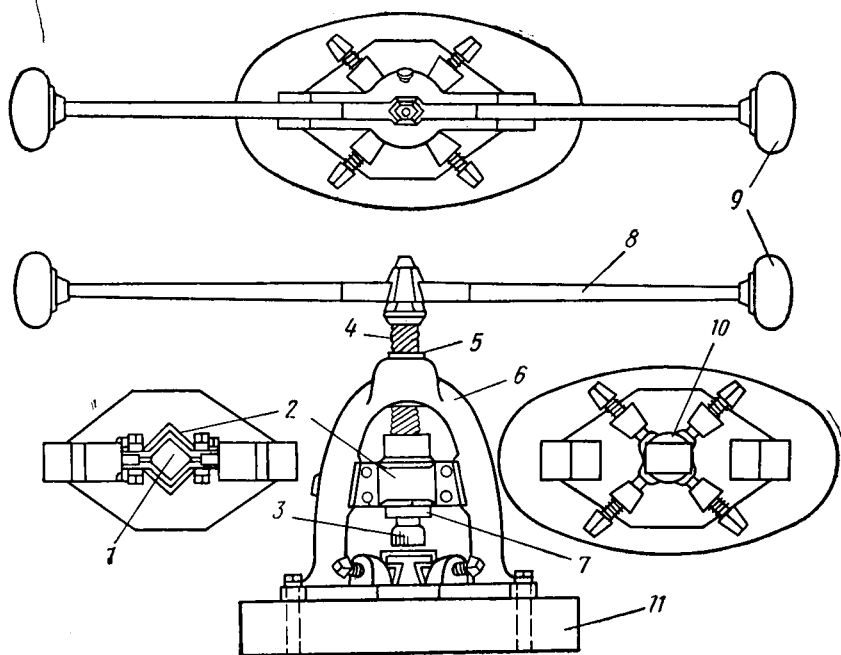


Рис. 5. Обрезной пресс Тульской штамповочной кузницы (чертеж Л. Фролова)

ботки. На рис. 6 приведены штампы для ружейной доски, курка, огнива и накладки (основные и обрезные). Штампы открытые одноручьевые, но без специальных заусенечных канавок. В те времена не были известны направляющие и замки в штампах, клещевые выемки, подштамповые подушки и другие детали современного штампа. У обрезных штампов не было съемников, башмаков, крепление было примитивным с помощью болтов и накладок.

Технологический процесс осуществлялся следующим образом. При штамповке замковых досок под молотом с бабой массой 64 кг на одном конце заготовки из прямоугольной пластины после нагрева получалось заострение, на другом — пережим. После вторичного нагрева и очистки от окалины заготовка поступала в одноручьевой штамп. Три удара молота было достаточно для заполнения штампа и образования заусенца, доску правили за один удар молота. Для снятия окалины после штамповки заготовки помещали в многогранный барабан с крупным песком. Барабаны были деревянные, выложенные внутри чугунными плитами. Для снятия с поковки окалины и остатков заусенцев двое рабочих вращали барабан в течение 0,5 ч. Марку завода на доску наносили в холодном состоянии на винтовом прессе (рис. 7). Это процесс обычной чеканки (так называемая рельефная чеканка). За смену штамповали 150 шт. досок.

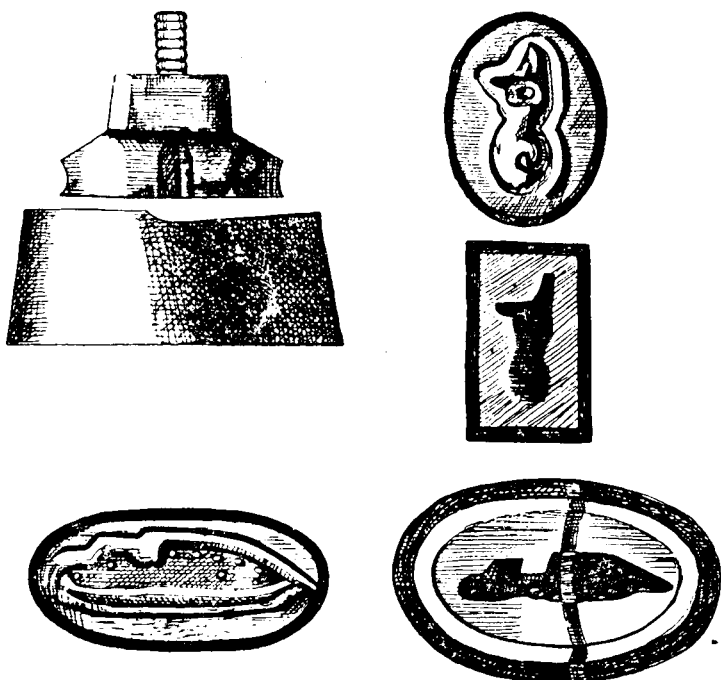


Рис. 6. Штампы для горячей штамповки деталей ружейного замка
(рисунок Л. Фролова)

Технология штамповки поковок курка, губки и других деталей была такой же, только вместо правки иногда после третьего нагрева их вторично штамповали, что обеспечивало лучшее заполнение рельефа полости штампа и повышало точность поковок. При штамповке применяли смазку конопляным маслом, что способствовало заполнению ручья металлом и увеличивало стойкость штампов. Применяли холодную обрезку заусенца. Если поковка была из мягкой (незакаливаемой) стали, то после штамповки ее опускали в воду и в мокром виде обрезали, при этом воду использовали для охлаждения обрезного инструмента. Заусенцы, оставшиеся на пуансоне, снимали пачками по мере их накопления. Металл заусенцев использовали после сварки на производстве, причем качество его считалось даже более высоким, чем обычного металла.

Применяли штамповку от прутка и штамповку мерных заготовок. При штамповке от прутка готовое изделие отделяли от остальной части прутка ножницами.

Изобретательность и упорство русских мастеров позволили создать машины и станки, представляющие интерес и по сей день. Несмотря на отсутствие точных приборов, измерительные работы проводили на достаточно высоком уровне.

Для того чтобы от куска металла неправильной формы можно было отделять достаточно точные по объему (массе) заготовки, использовали специальную разметочную бадью. Градуировку ее осуществляли так. В бадью, заполненную водой, опускали поочередно готовые детали, при этом каждый раз часть воды, равная объему опускаемых деталей, выливалась через край бадьи. После извлечения из нее очередной детали и понижения уровня воды, в стенке бадьи на соответствующих уровнях просверливали контрольные отверстия, надписывали около них название деталей и закрывали пробками. На этом разметку бадьи заканчивали.

При необходимости наметить место отрубки очередной заготовки на куске стали (например, для ружейного ствола массой 4,8 кг) в бадье устанавливали уровень воды при открытом отверстии с надписью «ствол». Затем это отверстие закрывали пробкой и погружали кусок стали в бадью до момента поднятия уровня воды в ней до края. В таком положении на куске стали делали отметку мелом, по которой и отрубали заготовку массой 4,8 кг. В те времена металл очень высоко ценился. На изготовление замка ружья выдавалось определенное его количество: 1,7 кг железа, 0,3 кг стали и 0,1 кг меди. При строгой выдаче металла культура производства должна была быть достаточно высокой, обеспечивающей небольшие угар и отходы, а главное количественную идентичность для всех изделий. Следует отметить, что уже в те времена, т. е. более 175 лет назад, были известны такие процессы, как продольная и поперечная вальцовка ствольных заготовок (Тульский завод), вальцовка сабельных клинков и штыков (Сестрорецкий завод), калибровка через очко, точная пробивка отверстий, чеканка и правка.

Развитие кузнечного производства во второй половине XIX в. в значительной степени стимулировалось увеличением потребности в поковках, в том числе в поковках большой массы в связи с железнодорожным строительством, постройкой морских судов винтового типа, расширением и усовершенствованием сталепушечного и снарядного производства, а также увеличением номенклатуры изготавливаемых машин, механизмов и двигателей. Это

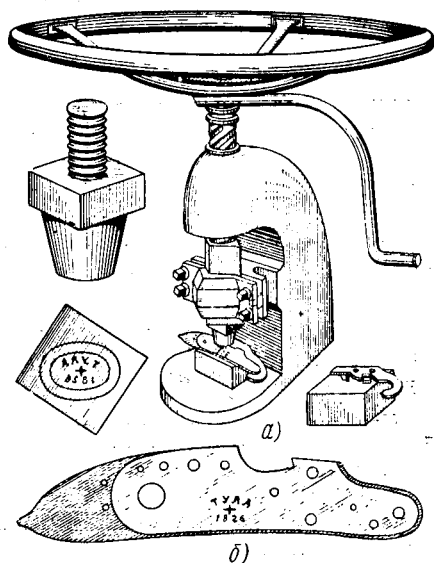


Рис. 7. Калибровочный пресс (а) и штамп (б) для выбивания марки завода на ружейной доске

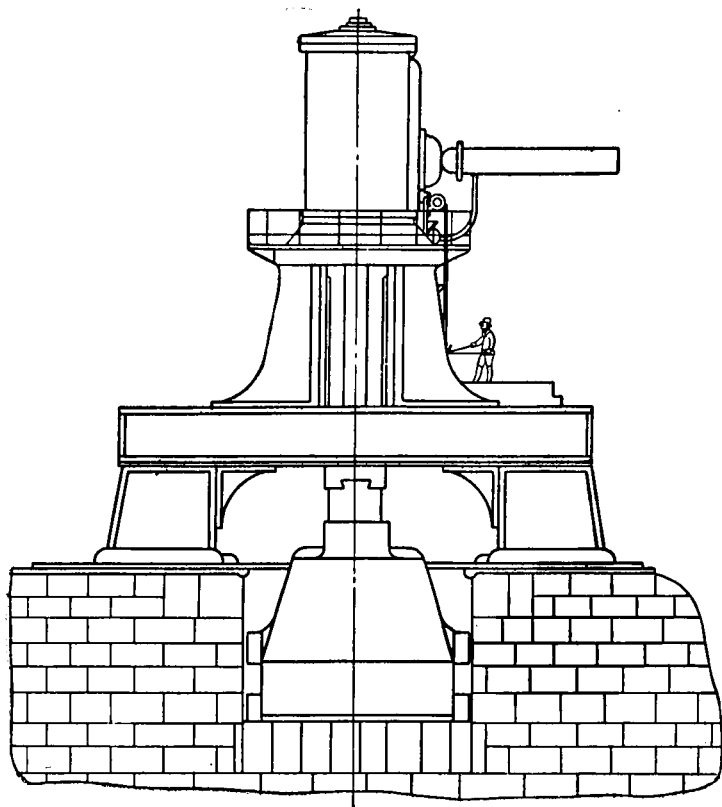


Рис. 8. Паровой молот Пермского завода с массой падающих частей 50 т

развитие было предопределено усовершенствованием машин-орудий кузнечного производства, среди которых основное место начали занимать паровые молоты вначале только простого, а затем и двойного действия и несколько позднее гидравлические прессы, конструкция которых была известна уже давно. Развитие судоходства, укрупнение калибра артиллерийских систем, строительство железных дорог, железных мостов и различных машин для промышленности приводило к необходимости подвергать ковке все более крупные пудлинговые, кричные железные заготовки и стальные слитки, масса которых нередко доходила до нескольких тонн.

Например, массу кованых якорей крупных судов определяли из расчета 25—40 кг на каждые 10 т водоизмещения судна. При водоизмещении судна 1000 т масса якоря достигала 4000 кг. Ковка таких поковок на приводных молотах и тем более вручную была невыполнимой.

Масса падающих частей паровых молотов, изобретенных в Англии инж. Д. Несмитом (1839—1843 гг.), постепенно увели-

чивается, а молоты получают все большее распространение в государствах с развивающейся промышленностью. В России того времени появляются паровые молоты, масса падающих частей которых в 7 раз больше, чем у наиболее крупных современных ковочных молотов. На Обуховском машиностроительном заводе и на пушечном заводе в г. Перми были смонтированы и эксплуатировались паровые молоты с массой падающих частей 50 т (рис. 8). Впоследствии самые крупные молоты, создающие значительные сотрясения, вредные для сооружений и работы станков, были вытеснены гидравлическими прессами. Однако паровые молоты, появление которых ознаменовало подлинный переворот в кузнечном производстве, прочно заняли достойное место среди машинорудий дляковки.

Кузнечные технологические процессы применяли на большинстве заводов так называемой железной промышленности России. Среди этих заводов были казенные, а также принадлежащие различным акционерным обществам или частным лицам. К числу наиболее крупных заводов по объему кузнечного производства можно отнести Пермский, Сормовский и Обуховский заводы, оборудованные молотами и прессами новейших по тем временам конструкций.

На Пермском и Обуховском заводах работали молоты с массой падающих частей 0,33—50 т. На этих заводах работали также гидравлические прессы (на Обуховском заводе самый мощный пресс усилием 75 МН, а по некоторым данным усилием 100 МН), кривошипные прессы (на Сормовском заводе 63 шт.) и специализированное кузнечное оборудование (для гибки и других работ).

К числу крупных относились также заводы с развитой кузнечной базой, такие, как Коломенский машиностроительный, Тульские, Балтийский, Луганский, Таганрогский, Златоустовский, Харьковский и др.

Большой вклад в развитие кузнечного производства внесли отечественные пушечники и, в частности, рабочие и инженеры Обуховского завода, которые одними из первых начали осваивать сталепушечное производство.

Начало сталепушечного производства России относится к первой половине XIX столетия, но особенно значительным это производство становится в период появления нарезных пушек и дальнобойных орудий (1863—1875 гг.) крупных калибров. Первую попытку отлить стальное орудие сделал начальник златоустовских заводов П. П. Аносов — замечательный русский металлург, открывший секрет производства восточного булата. Однако постановка и осуществление сталепушечного производства в большом объеме принадлежит инженеру и изобретателю П. М. Обухову (с 1857 г.). Будучи начальником Златоустовского горного округа, П. М. Обухов построил в 1859 г. относительно небольшой завод по изготовлению стальных пушек. Вскоре острая нужда в вооружении флота и крепостей заставила построить более мощный завод, способный изготавливать крупные по тем временам пушки массой до 8000 кг, а к 1865 г. — массой 12160 кг. С 1863 г. было начато производство их на Обуховском заводе, названном так по фамилии одного из главных участников постройки и руководителя этого завода.

Успешное развитие производства на Обуховском заводе и валовое производство крупных изделий позволило экспонировать в 1870 г. на машиностроительной выставке в Петербурге бандажи локомотивных и вагонных колес диаметром 91,5—244 см, из которых один был в холодном состоянии подвергнут гибке на гидравлическом прессе в восьмерку без образования трещин, а также колесную пару с железными спицами и ступицей и несколько осей, одна из которых после гибки в холодном состоянии не имела повреждений (расстояние между концами составляло 6—10 мм). Локомотивная ось диаметром 230 мм была отполирована со всех сторон для показа достоинства литья иковки.

На Московской политехнической выставке 1872 г. были показаны артиллерийские системы, среди них отдельный ствол 12-дюймового орудия, изготовленный из слитка массой 38,4 т, железнодорожные колеса, оси, бандажи и много других изделий. К тому времени завод поставил русским железным дорогам бандажей колес вагонных, локомотивных и тендерных 1200 шт., осей — 200 шт., колесных пар — 200 шт.

С 1873 г. на Обуховском заводе изготавливали гребные валы, в том числе, вал машины мощностью 735,5 кВт для яхты «Держава». Стоимость продукции завода в 1864 г. составляла 4196 р., а в 1873 г. — 705 574 р., т. е. в 170 раз больше.

В 1873—1875 гг. на заводе работали 12 паровых молотов, самый мощный из которых имел массу падающих частей 50 т. Паровой молот с массой падающих частей 50 т Обуховского завода был в числе двух самых крупных молотов в мире (наряду с молотом на заводе фирмы Круппа в Вестфалии). Потребность в таких молотах была обусловлена необходимостьюковки слитков массой 32 и 48 т для изготовления валов диаметром 280 и 305 мм. Кроме того, на заводе работали молоты с массой падающих частей 15; 5; 3; 2; 5; 1,2 и 0,8 т.

При работе крупные молоты сотрясали здания, затрудняли использование приборов вблизи них, усложняли механизацию вспомогательных работ, что не способствовало увеличению производительности. Поэтому, когда встал вопрос о ковке более крупных слитков, то опыт некоторых зарубежных стран, идущих по пути увеличения массы падающих частей молотов до 100 т (заводы Крезю) и даже до 125 т (заводы в Северной Америке) русскими специалистами не был признан положительным. С 1885—1886 гг. в России начали устанавливать гидравлические прессы.

В 1890—1891 гг. молоты Обуховского завода с массой падающих частей 50 и 15 т были заменены гидравлическими прессами усилиями 75 (см. рис. 9), 30, 15 и 8 МН. С тех пор на этом и других заводах использовали дляковки наиболее крупные молоты с массой падающих частей не более 6—7 т.

К передовым заводам того времени относился Коломенский машиностроительный завод с мощным кузнечным цехом, основанный в 1863 г. В перечне продукции, выпускаемой этим заводом, были паровозы, вагоны и платформы всех типов, локомобили, паровые машины, различные двигатели и разнообразные машины и орудия сельскохозяйственного, ткацкого и других назначений. Этот завод выпускал также оборудование для обработки металлов, в частности паровые молоты (здесь их и начали производить), что позволило частично отказаться от закупки заграничного

кузнечного оборудования. Молоты Коломенского завода не уступали лучшим заграничным образцам. К числу старейших русских заводов относится Златоустовский механический завод (построен в 1751 г.), в кузнечном цехе которого изготовляли полосы и различные поковки, а позднее, в 1889 г., он начал специализироваться на производстве железнодорожных костылей и называться «Костыльным».

К числу старинных заводов Урала относится Нижнетагильский завод, который с давних времен был специализирован на ковке кричного железа. В 1850 г. с введением паровых молотов объем и качество выпускаемых поковок значительно возросли. Для паровых молотов устанавливается паровой котел, работающий на отходящих газах.

Машиннаяковка (под молотами и прессами) вызвала необходимость применения нагревательных печей вместо кузнечных горнов. В конце XIX и начале XX вв. на заводах уже имелись крупные камерные печи и печи с выдвижными подинами. Во второй половине XIX и в начале XX вв. на заводах появились горизонтально-ковочные машины, гибочные машины-бульдозеры, вертикальные кривошипные прессы, вертикальные ковочные многобойковые машины, ротационные машины и др.

Развитое кузнечное производство было на Путиловских заводах. На этих заводах в 1892 г. работало 20 паровых молотов, 70 прессов и ножниц, 46 нагревательных печей, 120 подъемных кранов и другое оборудование. К 1898 г. число прессов и ножниц возросло до 83 единиц. Самым крупным считался сталелитейный, железоделательный и механический завод. Кузнечный цех его имел пять пролетов и состоял из шести отделений.

В отделении крупных поковок изготовляли гребные винты, броневой снаряды, составные части полевых и других малокалиберных пушек, фугасные и мелеитовые бомбы. Общая производительность цеха составляла 20 тыс. т в год при наличии 1350 рабочих.

Таким образом, в кузнечных цехах на различных заводах России прошлого столетия использовали молоты (приводные и паровые), прессы (кривошипные и гидравлические) и различное специализированное оборудование (болтовое, рессорное, пружинное и т. п.).

Наибольший интерес представляют паровые молоты и гидравлические прессы, конструкции которых в то время отработывали и совершенствовали как наиболее перспективное оборудование дляковки и штамповки.

По утверждению проф. П. М. Мухачева (одного из крупнейших специалистов в области кузнечного производства, труды которого имеют ценность и в наше время), первый патент на устройство парового молота был дан Д. Ватту еще в 1784 г. Во второй половине XIX в. существовало уже несколько конструктивных разновидностей молотов, однако выдержала проверку временем только система Д. Несмита, которого и считают изобретателем парового молота (1839—1843 гг.).

Установку на Обуховском заводе молота с массой падающих частей 35 т, переоборудованного в 1870 г. в 50-тонный, можно с полным правом отнести к числу сложнейших технических решений того времени. Успешное завершение работ по изготовлению огромного бетонного фундамента и невиданных размеров литого шабота свидетельствует о высоком уровне русской инженерной школы того времени.

Для установки фундамента в сложной геологической обстановке района Петербурга потребовались подробнейшие исследования строения почвы на большой глубине. Трудности усугублялись соседством (на расстоянии 57,5 м) такой большой реки, как Нева, особенно в связи с необходимостью углубляться ниже ее русла. На глубине 24,7 м была обнаружена скалистая порода в виде хрящеватого песчаника. Всю буровую технику изготовили собственными силами и средствами, а буровой инструмент — на Путиловском заводе.

Проект фундамента был составлен на месте с помощью лучших петербургских техников. Котлован, сужающийся книзу, длиной 26 м и шириной 14 м имел глубину 10 м (из них 3,3 м ниже уровня реки). Объем этих работ составил 2336 м³. По проекту петербургских техников в этом котловане возводили два фундамента отдельно для каждой станины молота. В промежутке между ними соорудался отдельный изолированный фундамент для шабота молота, который отличался новизной и оригинальностью конструкции. Для выполнения подшаботного фундамента в дне котлована была сделана круглая шахта диаметром 6,6 м и глубиной до скалистого основания. В шахте был размещен металлический корпус из котельного железа толщиной 12,7 мм, который по мере выборки грунта опускался. По достижении верхнего уровня скалы корпус заполнялся бетоном. Таким образом, нижнее основание этого монолитного фундамента опиралось на скалу, в которую углублялось на 1,0—1,2 м, а верхнее служило основанием для шабота. Производство работ осложнялось необходимостью борьбы с подпочвенными водами, которые систематически заполняли часть котлована.

Фундаменты под станины молота были размещены на расстоянии 8 м друг от друга. Каждый фундамент состоял из слоя щебенки толщиной 150 мм, покрытого жидкой гидравлической известью, слоя бетона, равного 100 мм, и двух взаимно перпендикулярных рядов (толщиной 225 мм) балок, уложенных на расстоянии 300 мм друг от друга. Пространства между балками были залиты бетоном. Поверх них был положен слой бетона толщиной 450 мм. Подушка из балок была установлена и под средний, шаботный фундамент. Дальнейшая работа по сооружению фундаментов (высотой около 10 м) под станины молота состояла из бутовой кладке, через которую проходили огромные болты для укрепления станин молота. Этот фундамент оказался высокого качества, что подтвердило отсутствие усадки и заметного колебания пола и молота во время работы.

Техническая характеристика молота следующая: масса падающих частей 35 т, диаметр поршня 2 м, длина цилиндра 4,1 м, полная высота подъема бабы 3,6 м, расстояние между станинами 9,1 м при общей высоте молота 11 м, наибольший диаметр штока (у места сопряжения с поршнем) 660 мм. Шабот чугунный, состоящий из четырех частей общей массой 450 т. Получение каждой отливки представляло собой большую сложность и требовало применения специальных технических решений. С этим русские металлурги успешно справились, использовав отдельные плавки ряда вагранок.

В 1870 г. описываемый молот был реконструирован силами и по проекту русских техников и превращен в молот с массой падающих частей 50 т. Ковка на этом молоте слитков диаметром 900 мм и массой 12,8 т для получения болванки диаметром 630 мм и дли-

ной 2800 мм продолжалась 1 ч. Из слитка диаметром 1150 мм, длиной 1670 мм и массой 24,6 т за 1 ч ковали восьмигранную болванку сечением 965 мм. Максимальное число ударов молота — 25 в минуту при высоте подъема бабы 2,9 м. Молот обслуживали два крана и две печи с выдвижными подинами. Примерно десятикратное соотношение масс падающих частей и шабота обеспечивало нормальные условия работы молота. Этот молот до и после реконструкции работал как молот простого действия.

На Пермском заводе в 1872—1873 гг. был сооружен молот двойного действия с массой падающих частей 50 т (см. рис. 8). В те времена конструкция молотов с верхним паром была новинкой, поэтому относительно его применения были разноречивые мнения.

Возможно, по этой причине Пермский 50-тонный молот был устроен так, что мог работать и как молот простого действия, и как молот двойного действия. В последнем случае мощность этого молота приравнивали к мощности 120-тонного молота простого действия. Пермский молот обладал более совершенным золотниковым парораспределением, чем молоты предыдущих конструкций, а станина его имела конструкцию современного молота мостового типа.

Масса шабота этого колоссального молота составляла 620 т и в 12,5 раз превышала массу падающих частей. Шабот был выполнен в виде цельной усеченной пирамиды с цапфами, ось которых проходила через центр тяжести отливки, что было необходимо для подвешивания и поворачивания шабота, отлитого в опрокинутом положении. Для отливки шабота потребовалось 14 вагранок, установленных только с этой целью в непосредственной близости от места отливки шабота.

Пермский молот справедливо считали весьма совершенным не только потому, что он имел цельный шабот, усовершенствованное золотниковое парораспределение и клепаную простую и удобной формы станину, но вследствие присущих ему эксплуатационных качеств. Молот был прост в управлении, имел свободный доступ к инструменту, хорошо по тем временам механизирован и т. д. Шток 50-тонного молота имел диаметр 560 мм, общая масса молота составляла 1383 т (из них 1228 т чугунные детали, 154,2 т железные и стальные, 0,8 т медные и бронзовые детали). Высота подъема бабы — 3 м. Молот работал на паре давлением 4 ат. Стоимость молота 400 000 р.

Установка, эксплуатация и ремонт такого молота представляют собой весьма сложную техническую задачу. С ней справлялись русские инженеры, мастера и рабочие, что говорит о высоком техническом уровне их подготовки и наличии большого опыта.

После замены мощных молотов гидравлическими прессами стали применять менее мощные молоты (до 6—7 т), конструкции которых были аналогичны лучшим конструкциям мощных молотов двойного действия.

Колпинский (ныне Ижорский) механический завод и Путиловский (ныне машиностроительный им. С. М. Кирова) заводы также были оснащены паровыми молотами мостового типа, но меньшей мощности.

В третьей (за рубежом) и особенно в четвертой четверти (в России) XIX столетия гидравлические прессы были установлены во многих крупных кузнечных цехах.

Изобретателем гидравлического прессы считают англичанина Д. Брама (1795 г.). Дляковки пресс впервые применен в 1847 г., причем этот пресс напоминает современную конструкцию гидравлического прессы с грузовым аккумулятором. В последующие годы были разработаны новые конструкции прессов; в настоящее время имеются десятки разновидностей этих машин-орудий, применяемых дляковки и штамповки.

Наиболее крупные прессы того времени имели усилие 140 МН. Русские прессы работали на давлении жидкости до 400—450 ат и были установлены на многих заводах: на Таганрогском — для изготовления бандажей железнодорожных колес (усилие прессы 6 МН), на Харьковском заводе Русского паровозостроительного и механического общества для изготовления днищ котлов диаметром до 2300 мм (усилие прессы 3 МН) и железнодорожных колес (усилие прессы 6 МН), на Луганском паровозостроительном заводе Гартмана для котельных работ (усилие прессы 5 МН), на Обуховском заводе дляковки слитков массой до 30 т (усилие прессы 50 МН) и для прессования стали в изложницах в момент остывания (усилие прессы 75—100 МН), на Балтийском заводе дляковки (усилие прессы 12 МН) и т. д.

Соответствующими исследованиями установлено, что работа молота, затрачиваемая на изготовление данной поковки, в 4—10 раз больше, чем аналогичная работа прессы.

Дляковки крупных стальных орудий и деталей для больших морских машин необходимы были прессы, развивающие усилие 30—40 МН. В котельном производстве того времени применяли прессы усилием 1—10 МН. Например, горячей штамповкой лобовые листы паровозных котлов вполне успешно получали на прессах усилием 10 МН. Взамен небольших паровых молотов с массой падающих частей 2—2,5 т и меньше применяли прессы усилием 1,5—2,0 МН. Число ходов прессы составляло 5—10 у крупных, 10—12 — у средних и редко 20 (для самых малых моделей прессов). О производительности прессов можно судить по таким данным. Производительность прессы усилием 12 МН — 18 т/ч кованых броневых плит толщиной 200 мм из слитков 400 × 400 мм. Слиток массой 3 т, сечением 470 × 700 мм превращался в болванку (180 × 660 мм) за 10 мин. Чем тяжелее молот, тем большие сотрясения, шaboты, фундаменты и значительнее сосредоточение деформаций у поверхности заготовки. Преимущества прессов: простота действия, независимость давления от толщины поковки, точность обжатий, возможность изготовления крепежных деталей инструмента из чугуна. Малое число

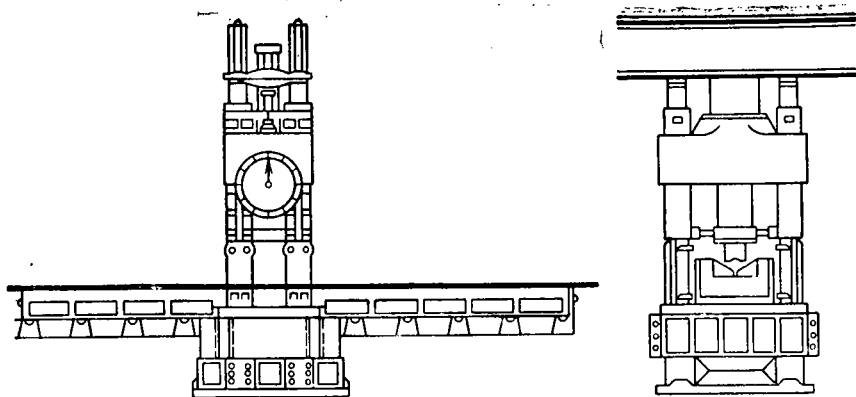


Рис. 9. Гидравлический ковочный пресс усилием 75 МН Обуховского завода

ходов не ухудшает работу, так как после каждого обжатия необходимы повороты и подачи заготовки, на которые все равно затрачивается много времени. Крупные молоты также не давали более 5—10 ударов в минуту. При ковке на прессе в 2 раза сокращается число выносов заготовки из печи, которое при ковке на молотах иногда достигает десятков. В результате времяковки под прессом в 3—5 раз меньше, чем на молоте. Однако для мелких поковок прессы менее целесообразны, так как очень тихоходны, металл небольших сечений успевает остыть и ковка с повышенным числом нагревов и выносов малопродуктивна. Дляковки слитков массой до 500—700 кг из легированной стали и до 1000 кг из углеродистой стали применяли молоты, для более крупных слитков — прессы. Подобное подразделение действительно и в наши дни.

На рис. 9 приведен гидравлический ковочный пресс Обуховского завода усилием 75 МН. Четырехколонный пресс работал на трех ступенях давления, имел ходоизмеритель (см. круглый циферблат в верхней части прессы). Колонны прессы имели диаметр 660 мм с расстоянием по фронту 3660 мм и сбоку 1440 мм, диаметр цилиндров 900 мм. Ход прессы 200 мм (при усилии 75 МН), 400 мм (при усиллии 5 МН) и 600 мм (при усиллии 2,5 МН). Рабочее давление прессы 400 ат. Пресс обслуживали два крана грузоподъемностью 120 и 60 т. Кроме того, был установлен кран грузоподъемностью 1 т для подачи заготовок на бойки, смены инструмента и т. п. работ. Краны были оборудованы кантователями и тележками для продольного передвижения заготовок.

Переход к более совершенному оборудованию во второй половине XIX в. не мог не сказаться и на технологии кузнечно-штамповочного производства. Уровень технологии повысился, так как уже появились некоторые средства механизации, новые виды инструмента, уменьшились времяковки и число выносов из-за

большей быстроходности машин-орудий. Новые виды исходных материалов (мартеновская сталь, прокатные профили) также способствовали повышению технического уровня кузнечно-штамповочного производства. Представление об уровне технологии дают приведенные данные, относящиеся ко второй половине XIX столетия.

При ковке поковок из литого металла припуск составлял $\sim 10\%$ по размеру (5% на сторону для вала). Отходы (включая обсечки и угар) составляли примерно 40% (точнее, $30\text{—}50\%$) от массы откованного металла. Уковка равна 2. Температуру металла определяли на глаз. Для определения размеров применяли шаблоны, линейки и кронциркули. Уже в те времена использовали комбинированные бойки: нижний вырезной (так называемая треугольная наковальня), верхний — плоский. Вырезной боек имел угловой или радиусный вырезы, что соответствует современным формам этих бойков. В числе первых источников, в которых приведен чертеж вырезных бойков, можно назвать работу известного русского металлурга Д. К. Чернова (1867 г.), который занимался отработкой режимовковки и термической обработки на Обуховском заводе еще в 1870 г. Д. К. Чернову принадлежат фундаментальные работы в областиковки, в частности открытие и описание линий скольжения при пластической деформации.

В работах Д. К. Чернова приведены данные о технологических процессахковки под молотами и прессами пушечной болванки (протяжкой), орудийных колец (осадкой, прошивкой и раскаткой), цапфенных колец и др.

В те времена применяли технологические процессы двух типов. Если поковку изготавливали из сварочного железа, то использовали пакетный, составной способ сварки заготовок из отдельных пластин. Стальные поковки ковали обычным способом — из целой заготовки или слитка. Сварочное железо — более трудный материал дляковки, чем литые слитки.

Широко применяли сварку мелких заготовок для получения крупногабаритных поковок. В простейшем случае сваривали четыре заготовки в общую такой же длины, после чего ее ковали на заданный размер. Однако мелких свариваемых заготовок могло быть даже десятки. Сечения составных заготовок напоминали как бы кирпичную кладку. Каждый пакет составных заготовок скрепляли оболочкой, нагревали в печи и сваривали в процессековки. Составную заготовку вытягивали в брусок квадратного сечения, увеличивая ее длину в 1,5 раза. Затем несколько тонких брусков тоже сваривали аналогичным образом и ковкой из них получали, например, вал. Если при второй вытяжке коэффициент уковки составлял 1,5, то общая уковка составляла $1,5 \times 1,5 = 2,25$, что устраняло следы литой структуры.¹ При большом

¹ В то время общую уровку за два приема подсчитывали, как произведение числа ковков на уровку за вынос. В данном случае уковка составляла не 2,25, а $2 \times 1,5 = 3$.

числе свариваемых заготовок в отдельных ее местах мог получиться непровар. Однако кузнецы, благодаря своему высокому мастерству, добивались качественной проковки.

Крупные коленчатые валы также ковали из полосовых заготовок, сложенных в пакет и сваренных при ковке. Применяли составные валы, кованные по частям и соединенные между собой прессовой посадкой (такие валы стоили в 3 раза дешевле). Паровозные дышла и крупные шатуны ковали цельными или по частям с последующей обработкой и сваркой. Паровозные топочные рамы изготавливали из четырех пакетов массой 90 кг каждый. Штоки молотов ковали из цельной заготовки с высадкой крепежного утолщения и протяжкой тела штока. Некоторые поковки, например валы со сквозным осевым отверстием, изготавливали из пустотелых слитков. При ковке стальных пушек уковка составляла 3—5. Для устранения поверхностных дефектов слитки обтачивали на станке. Угар составлял 8% и более. Число выносов достигало 10—12. Для пушки длиной 36 калибров и со стволом диаметром 36 см применяли слиток массой 80 т. Послековки оставалось 40 т, после сверления ствола и обточки поверхности — 25 т металла. Коэффициент использования металла при этом был равен 0,31. Самые тяжелые слитки для пушек имели массу 120 т.

Небольшие поковки более точных форм получали штамповкой (инструмент-штамп, состоящий из двух частей, ранее называли матрицей и патрицей).

Использовали две разновидности штамповки:

исходных заготовок простой формы непосредственно в штампе с окончательной формой ручьев (так штамповали поковки при крупносерийном производстве — детали оружия, швейных и сельскохозяйственных машин, велосипедов и др.);

предварительно откованных фасонных заготовок за несколько ударов молота (при меньшей серийности производства относительно крупных поковок более сложных форм).

Штампы изготавливали механической обработкой по шаблонам. Применяли монолитные, составные, в том числе и бандажированные штампы. Быстроизнашиваемые части штампов иногда изготавливали сменными из износостойких материалов. Точность рельефа и размеров полости штампов проверяли с помощью свинцовых отливок. Штампы обычно имели плоский разъем. Как и в настоящее время, штампы закрепляли клиньями по хвостовику (типа ласточкина хвоста), однако сами клинья были расположены не параллельно друг другу, а взаимно перпендикулярно (если клин верхней части штампа был расположен по фронту оборудования, то клин нижней части — перпендикулярно ему в той же горизонтальной плоскости). Этим достигали необходимое регулирование положения частей штампа в двух направлениях горизонтальной плоскости. В некоторых случаях применяли двухклиновое крепление каждой части штампа.

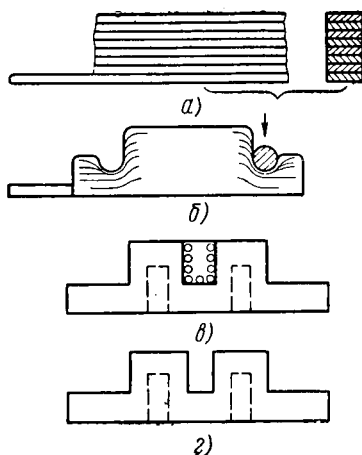


Рис. 10. Ковка поковки двухколенчатого вала из восьми свариваемых пластин

Штампы центрировали с помощью шпонок, входивших частично в хвостовую часть штампа и частично в крепежную деталь (бабу и подкладную плиту). Для штампов применяли высокоуглеродистые инструментальные стали. Производительность при штамповке была в 8—10 раз больше производительности при ковке.

В кузнечных цехах с глинобитными полами только начинали применять вентиляцию, кое-где

использовали печи с боровами, горны с вытяжными устройствами, однако условия работы в кузнечных цехах при сменах продолжительностью 10 и 12 ч были очень тяжелыми. Никакой механизации, кроме подъемных кранов и транспортировочных желобов, не применяли. Применяли одно- и двухрядное расположение оборудования. Цехи отличались теснотой и несовершенством организации рабочих мест.

Познакомимся с технологией кузнечного производства того времени, применявшейся на отдельных заводах. На Коломенском заводе, например, применяли почти все известные тогда технологические процессыковки и штамповки.

Общая номенклатура поковок исчислялась тысячами единиц. Например, для паровозов требовалось 250—300 различных кованых и штампованных поковок (в зависимости от типа паровоза).

В начале XX в. на Коломенском заводе были установлены все известные кузнечные машины, включая бульдозеры, горизонтально-ковочные машины, эксцентриковые прессы и различное специализированное оборудование. Вагонная кузница завода располагалась в двух корпусах. В цехе работало 340 кузнецов, производивших 1680 т мелких кованых поковок, 385 т штампованных изделий в год. В более позднее время на Коломенском заводе был организован цех для массового производства болтов, гаек, заклепок, а так-

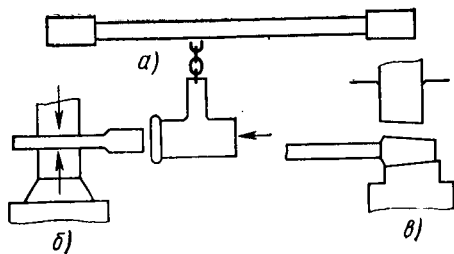
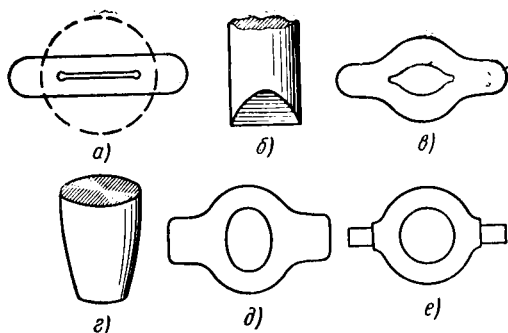


Рис. 11. Ковка валика с утолщением на концах

Рис. 12. Ковка цапфенного кольца



же цеи гибочно-рессорный и ковочно-пружинный. Кузнечное и кузнечно-штамповочное производство на Коломенском заводе в то время отличалось относительно высокой технической культурой, что объяснялось большой опытностью инженерно-технического персонала и мастеров кузнечного дела.

Кузнечное производство Сормовского завода во многом было аналогично производству Коломенского завода. Кроме паровозных поковок на Сормовском заводе производили много других и, в частности, поковки для судостроения, впоследствии их производство стало основным на этом заводе.

Ниже даны примеры, характеризующие уровень развития технологии кузнечно-штамповочного производства прошлого столетия. Поковку коленчатого вала из свариваемых пластин ковали с общим обжатием пакета пластин (а), прожатием цапф (б), их отделкой при протяжке (в) и удалением межколенных напусков (рис. 10). Колена (г) выполняли сверлением смежных отверстий при механической обработке вала. Коэффициент использования металла при такой технологии не более 0,3.

Штоки молотов заодно с поршнем и валы с утолщениями на концах (рис. 11, а) получали протяжкой с высадкой концов заготовки, для чего ее зажимали между бойками пресса и наносили горизонтальные удары массивной подвеской от мостового крана (б). Окончательную отделку утолщений штока выполняли на прессе. Для придания конусности этим утолщениям (например, в месте крепления штока с бабой) применяли бойки с площадками (в) соответствующего наклона.

Представляет интерес технологияковки поковки цапфенного кольца, приведенная в трудах Д. К. Чернова и не потерявшая практического значения и в настоящее время (рис. 12). Круглый темплет (а) отрезают от болванки и обжимают поперек его оси, затем прорезают или прорубают щелевое отверстие в обжатом темплете и раздают его вначале цилиндрической оправкой (б) с рабочей частью как у зубила (см. позицию в), а затем круглым дорном (г) до окончательного размера отверстия кольца (д). После скругления цапф (е) поковка кольца готова.

Технология горячей штамповки кранового крюка (рис. 13) почти не отличается от современной технологии и состоит из подготовки стержня (а), гибки и штамповки (б) в одноручьевом штампе

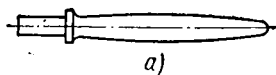
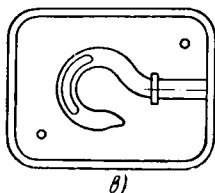
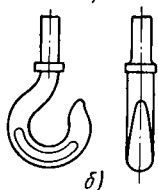


Рис. 13. Штамповка кранового крюка



(в) с направляющими в виде диагонально расположенных шпилек в нижней части штампа и соответствующих им отверстий в верхней части штампа.

Несмотря на отдельные усовершенствования и достижения в области кузнечно-штамповочного производства к моменту Великой Октябрьской Революции оно было далеко не передовым. Тяжелые условия труда и ставка промышленников на зарубежный опыт приводили к тому, что инициатива рабочих и техников не могла быть полностью использована. Это и сказывалось на уровне развития

технологии производства. Только после Великой Октябрьской Революции началось развитие отечественного производства, в том числе и кузнечно-штамповочного.

3. Кузнечно-штамповочное производство СССР

Промышленность СССР после первой мировой и гражданской войн находилась в полуразрушенном состоянии. Получив в наследство от капиталистической системы в России маломощное и доведенное до крайней степени истощения машиностроение, советская страна вступила в восстановительный период, естественно, сохраняя структуру предприятий и заводов. Организация производства в машиностроении была такова, что каждый завод имел полный цикл производства, включая кузнечное и кузнечно-штамповочное. В силу относительно небольших размеров отдельных предприятий кузнечные и кузнечно-штамповочные цехи также были небольшими, они выпускали только несколько тысяч тонн поковок в год и лишь отдельные из них — 10—20 тыс. т. Таким образом, кованные и штампованные поковки получали мелкими сериями, производство было маломасштабным, неспециализированным и примитивным с технологической точки зрения.

Заводы, построенные в 30-е годы, отличались крупномасштабным производством, что обусловило значительное увеличение серийности кузнечного производства. Таких крупномасштабных кузнечных и кузнечно-штамповочных цехов, как цеха, построенные на автомобильных, тракторных, шарикоподшипниковых, комбайновых, машиностроительных и авиационных заводах, до революционной промышленности России не имела. Однако и в этих крупномасштабных цехах, выпускавших от десятков до более сотни тысяч тонн поковок в год, производство было только серийным или крупносерийным и лишь в отдельных случаях мас-

совым. Большое число переналадок инструмента (до 20 и более на единицу оборудования) ограничивает возможности специализации производства, применения средств механизации и автоматизации. Все это проще осуществить в условиях кооперирования и централизации (центрокузы) производства поковок, которые все более широко применяют в отечественном машиностроении.

В первую очередь централизация производства штампованных изделий коснулась метизного производства вследствие специфичности и однородности его продукции. В СССР насчитывается более тысячи заводов по производству болтов, гаек, гвоздей, заклепок и т. п. изделий. Есть заводы по изготовлению запасных частей к автомобилям и тракторам, специализированные заводы для производства поковок клапанов, карданных валов, различных цепей, деталей подшипников качения и т. д. Внедряется специализация на машиностроительных заводах (производство шестерен, шатунов и рессор — на автомобильных заводах). На специализированных заводах и в цехах массового производства поковок переналадка инструмента не изменяет условий выполнения вспомогательных операций, а механизация производства позволяет применять наиболее современные технологические решения.

Технологический процесс кузнечно-штамповочного производства характеризуется простотой, высокой экономичностью и производительностью. С помощью разнообразных способовковки и штамповки получают большое число поковок деталей машин и приборов, метизы, разнообразный инструмент и металлические предметы бытового назначения. Число кованных и штампованных деталей в отдельных машинах достигает $\frac{1}{3}$ по массе и $\frac{2}{3}$ по числу деталей.

В Советском Союзе производят огромное (исчисляемое многими десятками тысяч единиц) число машин, механизмов и приборов, в связи с чем кузнечно-штамповочное производство получило очень широкое применение. Только по плану девятой пятилетки предусмотрено создание 25 000 единиц новых машин, механизмов и приборов. Масса производимых поковок колеблется от нескольких десятков граммов (при производстве швейных машин, велосипедов и т. п.) до сотен тонн при (ковке поковок роторов турбин, валов судовых двигателей и др.).

Ковкой и штамповкой изготавливают миллионы изделий разных типов, массы, формы, размеров, точности и шероховатости поверхности, при этом используют металлы различных химических составов, пластичности, прочности. Ковкой и штамповкой могут быть обработаны почти все используемые в промышленности металлы и сплавы. Для особо труднодеформируемых и малопластичных сплавов применяют специальные способы обработки давлением.

По мере совершенствования процесса обработки давлением получали поковки, шероховатость поверхностей и точность размеров которых соответствовали достигаемым при токарной обра-

ботке, затем при фрезеровании и, наконец, при шлифовании, а в отдельных случаях и при полировании. Специальные виды штамповки (калибровка, выдавливание) обеспечивают получение готовых изделий (заклепок, болтов, гаек и др.) и деталей машин, пригодных для сборки без дополнительной обработки резанием (лопатки турбин), при этом достигалась точность по 5-му классу и высокое качество поверхности.

Созданы новые процессы, при использовании которых обработка металлов давлением не предшествует обработке резанием, а завершает изготовление деталей. К ним относится большая группа процессов чистовой обработки поверхности деталей пластическим деформированием, в том числе обработка обкаткой и раскаткой роликами, дорнование отверстий, упрочняющая обработка поверхности наклепом, накатка зубьев и резьб и др. С помощью этих процессов практически достигнута шероховатость как у полированной поверхности для сырых и закаленных сталей до *HRC* 50. Масса деталей, обрабатываемых указанными способами, достигает сотен тысяч тонн в год. Широкое распространение описываемых процессов подтверждает общую тенденцию, которая сводится к уменьшению объема обработки резанием и к применению таких прогрессивных способов обработки, как обработка металлов давлением и литье в формы.

Токарная обточка, фрезерование, строгание не должны применяться самостоятельно для изготовления тех деталей, которые могут быть получены экономически более выгодными способами обработки металлов давлением или литьем. Механическая обработка экономически оправдана при выполнении небольшого объема работ и отделочных операций — для уменьшения радиусов закруглений углов, образования поднутрений и очень узких канавок, а также для повышения качества поверхности и точности размеров детали, если этого нельзя достигнуть обработкой давлением.

В СССР выплавляют огромное количество стали. В 1974 г. выпуск стали достиг 136 млн. т, а плановый выпуск кованных и штампованных поковок в 1975 г. составит 9,5 млн. т,* т. е. 6,6% от всей выплавляемой в стране стали. Примерно 40% общего выпуска поковок приходится на кованные поковки, остальные — на штампованные. При этом масса кованных и штампованных деталей составляет в среднем 17% и достигает 30% в автомобиле- и тракторостроении. Коэффициент использования металла ($K_{\text{исп}} = \frac{G_d}{G_{\text{заг}}}$; G_d — масса деталей машин; $G_{\text{заг}}$ — масса металла, поступающего в обработку) в СССР и зарубежных странах в среднем

* Эти и другие цифровые данные, характеризующие современный уровень развития кузнечно-штамповочного производства, взяты из статей зам. министра станкостроительной и инструментальной промышленности СССР Д. И. Полякова («Кузнечно-штамповочное производство», 1972, № 3, 8, 12; 1975, № 3).

не превышает 0,55—0,6, что объясняется большим еще пока объемом обработки резанием.

Оптимальные технико-экономические решения в технологии машиностроения, приборостроения и метизного производства основываются на рациональном совместном применении обработки давлением, литья и обработки резанием. Металлы и сплавы, используемые в промышленности, подразделяют на литейные и деформируемые соответственно способам изготовления из них деталей машин, приборов и т. п. Обработка резанием обеспечивает необходимую точность и допустимую шероховатость поверхности. Именно такое сочетание различных способов обработки металлов обеспечивает высокий коэффициент их использования, достигающий при производстве некоторых деталей 0,9 и более. Таким образом, обработку давлением следует рассматривать как составной элемент технологии машиностроения, приборостроения и других аналогичных производств.

Трудоемкость кузнечных процессов в значительной степени зависит от серийности и масштаба производства, которые, в свою очередь, обуславливают специализацию и механизацию или автоматизацию процессов и техническую культуру производства. Сопоставление работы кузнечно-штамповочных цехов с различной серийностью производства, но с одинаковыми объемами показало, что в среднем выпуск поковок, приходящийся на одного рабочего, отличается в несколько раз, причем, чем больше масштаб и серийность производства, тем выше производительность труда. Если при горячей штамповке в крупносерийном и массовом производстве (например, в автомобилестроении) трудоемкость не превышает 10 нормо-часов на 1 т поковок средней массы и 20 нормо-часов на 1 т мелких поковок, то при ковке в условиях индивидуального производства таких же по массе поковок на каждую тонну металла затрачиваются сотни часов.

Если сопоставить мелкосерийное производство кованных поковок при небольшом объеме (до 1000 т в год) и крупносерийное штампованных поковок при большом объеме (свыше 50 000 т в год), то трудоемкость изготовления 1 т поковок изменяется от 300—350 до 6—7 чел.-ч.

Увеличение масштаба производства поковок положительно отражается не только на трудоемкости, но и на других технико-экономических показателях производства.

Чем меньше объем производства поковок, тем чаще всего меньше и серийность их производства, а следовательно, и роль штамповки.

Ковку нельзя считать неэкономичным процессом при малой серийности производства поковок небольших и средних масс (до 100—200 кг), изготавливаемых преимущественно на молотах. Более крупные поковки, особенно поковки массой, исчисляемой десятками и сотнями тонн, удается изготавливать только ковкой на прессах, причем в данном случае этот процесс является прогрессивным и экономичным независимо от серийности производства.

Соотношение кованных и штампованных поковок, выпускаемых кузнечно-штамповочными цехами

Поковки	1958 г.		1965 г.		1975 г.	
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Кованные	1760	41,5	2220	34,8	~3800	~40
Штампованные	2484	58,5	4150	65,2	~5700	~60
Итого . .	4244	100	6370	100	9500	100

Указанная выше цифра ~40% кованных поковок в общем балансе поковок, производимых в Советском Союзе, является средней. В тяжелом машиностроении число кованных поковок достигает 70%, а в автомобилестроении только 6% (остальные в обоих случаях штампованные).

В результате реконструкции отдельных заводов, введения новых мощностей и объединения мелких кузниц в крупные увеличена масштабность выпуска поковок цехами кузнечного производства. В табл. 1 приведен выпуск по годам кованных и штампованных поковок.

Экономия металла — одна из основных задач, стоящих перед кузнечно-штамповочным производством. При несовершенных технологических процессах коэффициент использования металла даже на специализированных предприятиях не превышает 0,5. Необходимо этот коэффициент увеличить до 0,6—0,7, при этом не менее 30—40% металла будут составлять отходы кузнечных, термических и механических цехов (при использовании малоотходных процессов типа безоблойной штамповки, калибровки под шлифовку, выдавливания готовых к сборке деталей машин и т. д.).

Для общего представления об отходах металла при различных способах изготовления поковок в табл. 2 приведены примерные коэффициенты его использования, рассчитанные как отношение массы готовых деталей к массе расходующего на них материала.

Наибольшая часть отходов при ковке (см. табл. 2) связана с превращением поковки в деталь в процессе механической обработки. В отдельных случаях отходы в стружку выше указанных в табл. 2 и достигают 60 и даже 70% от массы заготовки (для небольших деталей сложных форм). При горячей штамповке отходы в стружку меньше, но больше отходы в процессе формообразования поковок (в основном на заусенцы). При ковке поковок из слитков $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$ металла слитка удаляется в отход (донная и прибыльная части). Из-за этих отходов значительно уменьшается коэффициент использования металла при ковке поковок из слит-

ков. Однако рассматриваемые отходы металла обнаруживаются только в кузнечных цехах, а по существу являются отходами сталеплавильного производства. Отходы же металла при обработке поковок резанием в значительной степени являются отходами кузнечного производства, хотя и образуются в механических цехах.

Величина тех и других отходов в значительной степени характеризует техническую культуру производства поковок и может служить одним из основных технико-экономических показателей производства деталей машин.

При штамповке поковок в закрытых штампах в сочетании с безокислительным или малоокислительным нагревом заготовок и точной их дозировкой при резке суммарные отходы, как видно по данным табл. 2, не превышают 10% от массы исходного металла. Этим перспективным способом изготавливают уже значительное число поковок на многих отечественных заводах.

Производственный процесс в кузнечно-штамповочных цехах характеризуется простотой, относительно малой операционностью (нагрев, ковка или штамповка, в последнем случае обрезка заусенца, охлаждение поковок), высокой производительностью, большой металлоемкостью и энергоемкостью.

Технологический процесс можно расчленять на элементы, осуществляемые в различных комбинациях. Изготовление поковок отличается незначительной продолжительностью непосредственно рабочего цикла. При горячей штамповке, например, нагрев металла в печах длится десятки минут, при индукционном нагреве —

Таблица 2

Ориентировочный коэффициент использования металла при различных способах изготовления поковок

Способ изготовления	Отходы				Коэффициент использования металла $K_{\text{исп}} = \frac{G_d}{G_{\text{заг}}}$
	при подготовке к ковке, штамповке (отрубке, отрезке)	при нагреве, ковке, штамповке	при механической обработке	при термической обработке	
	в % от массы слитков, заготовок		в % от массы поковок		
Ковка слитков	≤25	≤10	≤40	≤2	≤0,45
Ковка болванок и прутковых заготовок	≤3	≤8	≤30	≤2	≤0,5
Объемная штамповка (в открытых штампах)	≤4	≤20	≤25	≤1	≤0,6
Точная штамповка (в закрытых штампах)	≤2	≤5	≤10	≤1	≤0,9

**Зависимость технико-экономических показателей производства
поковок от объема производства**

Объем произ- водства в год, тыс. т	Поковки из стали									
	среднеуглеродистой					легированной				
	штампованные, %	кованные, %	выпуск единицей оборудования в год, т	выпуск на одно- го рабочего в год, т	относительная себестоимость 1 т, %	штампованные, %	кованные, %	выпуск едини- цей оборудо- вания в год, т	выпуск на одно- го рабочего в год, т	относительная себестоимость 1 т, %
До 0,5	14	86	86	21,7	100	67	33	110	7	100
» 5	26	74	333	37,1	86	80	20	200	25	82
» 10	27	73	1018	45,0	85	89	11	562	36	72
» 20	52	48	1160	64,0	84	90	10	1177	68	68
» 60	92	8	3400	79,0	72	95	5	1770	82	63

десятки секунд, и только крупные слитки дляковки нагревают в течение многих часов (массой 200 т нагревают до 1200° С за 2—3 суток).

Время штамповки не превышает нескольких секунд (удар молота происходит за 0,01—0,001 с, на обжатие металла кривошипным прессом расходуется 0,1—0,5 с, на быстросействующах современных гидравлических прессах на обжатие 200—300 мм — несколько секунд). На сотни обжатий, которые требуются для сложных операций при ковке крупных поковок, расходуется всего несколько или десятки минут машинного времени от общего времени, затрачиваемого на ковку и исчисляемого многими часами.

Увеличение объема производства положительно влияет на технико-экономические показатели цехов, выпускающих поковки, при этом их изготовление становится дешевле и повышается производительность труда (табл. 3).

Приведенные в табл. 3 объемы производства поковок (до 60 тыс. т в год) далеки от предельных. Оптимальный выпуск поковок современных цехов серийного производства достигает 150—200 тыс. т в год, крупносерийного производства 200—300 тыс. т в год, кузнечных заводов (центрокузы) — до 400—500 тыс. т в год.

Из этой же таблицы видно, что укрупнение производства особенно эффективно сказывается на изготовлении поковок преимущественно штамповкой, что, вероятно, объясняется относительно большей специализацией технологических процессов горячей штамповки по сравнению с ковкой при увеличении объема производства. Для поковок из легированной стали отмеченное преимущество проявляется в большей степени, чем для поковок из углеродистой стали. Специализация производства поковок сопрово-

ждается ограничением номенклатуры выпускаемых поковок для каждого их цехов в соответствии с возможностями данного производства (тип, размер и число единиц оборудования).

Ограничение номенклатуры поковок за счет унификации или объединения отдельных поковок для совместнойковки, штамповки целесообразно, но не может привести к значительному сокращению числа производимых поковок. Этот вопрос решен в результате широкого кооперирования различных производств. При этом удалось не только сократить номенклатуру поковок, но и увеличить объем производства каждого типа поковок, сосредоточив в отдельных цехах изготовление поковок однородных форм и близких по технологии.

Такое формирование номенклатуры производимых поковок создает предпосылки для применения специализированного оборудования, комплексной механизации и автоматизации, внедрения новейшей технологии и прогрессивных методов организации труда. Все это способствует увеличению производительности труда и снижению себестоимости поковок. Подсчитано, что в кузнечно-штамповочном цехе ЗИЛа сокращение номенклатуры поковок с 900 до 250 (с тем, чтобы на каждый типоразмер оборудования вместо 13 наименований поковок приходилось только 4) увеличивает выпуск поковок на 12%, при этом их себестоимость значительно сокращается, а качество повышается.

Одна из положительных сторон специализации состоит в возможности организации централизованного производства однотипных общемашиностроительных поковок (шестерен, валов, клапанов, фланцев и др.), а также крепежных изделий (болтов, гаек, заклепок и др.) в системе центральных цехов.

По степени специализации кузнечно-штамповочные цехи подразделяют на специализированные, универсальные и смешанные, представляющие собой промежуточную группу цехов.

В большинстве своем это штамповочные цехи, но в числе специализированных есть и ковочные, например осековочные для железнодорожного транспорта, а также цехи некоторых металлургических заводов, для изготовления болванок из слитков высоколегированной стали или дляковки слитков некоторых сталей, прокатка которых без предварительнойковки невыполнима.

К универсальным относятся цехи общемашиностроительных заводов, изготавливающие поковки небольшой и средней массы (молотовые кузнечные цехи), а также изготавливающие поковки большой массы (прессовые цехи).

Эта группа цехов выпускает разнообразную номенклатуру поковок, достигающую 10—20 тыс. наименований в год. Большинство из них изготавливают небольшими сериями, и только отдельные поковки (например, шары для размольных мельниц) выпускают миллионами штук, для чего организованы специализированные поточные линии. К промежуточной группе относятся кузнечно-штамповочные цехи смешанного типа и большая часть

цехов автомобиле- и тракторостроения, а также сельскохозяйственного машиностроения. В зависимости от серийности производства отдельных поковок в указанных цехах применена разная степень его специализации.

Серийность и масштаб производства поковок — главные факторы, определяющие эффективность специализации, механизации и автоматизации их производства. Массовое производство поковок допускает наивысшую степень специализации, которая распространяется на машину-орудие, инструменты-штампы, технологию производства поковок, их развес и номенклатуру. В этом случае создаются наилучшие условия и для автоматизации производства.

Создание специализированных автоматов (типа болтового комбайна) для производства одного типа изделий является наивысшим достижением в кузнечно-штамповочном производстве. В отечественной промышленности находится в эксплуатации много различных штамповочных автоматов указанного типа; кроме болтового комбайна имеются установки для штамповки колец, клапанов (роторного типа), цепей, для комбайновых валиков и др.

В серийном производстве поковок специализации подвергается преимущественно инструмент, а машины-орудия могут быть универсальными (прессы, горизонтально-ковочные машины, молоты и др.).

В индивидуальном производстве при большой номенклатуре выпускаемых поковок меньше возможности для специализации, так как при этом используют универсальное оборудование и инструменты.

Подразделение кузнечно-штамповочного производства на единичное (индивидуальное), серийное и массовое является в известной степени условным.

Границы между соседними типами производства не установлены, и подразделение соответствующих цехов носит качественный характер. Например, число, которым характеризуется крупная серия поковок для тепловозов, соответствует мелкой серии поковок для тракторов и т. д. Даже для одного и того же типа поковок понятие о серийности может быть не одинаковым в зависимости от их габаритных размеров. Например, серийность в производстве мелких и крупных болтов имеет различное количественное выражение, так как способы их производства существенно отличаются друг от друга.

При массовом производстве поковок цех подразделяют на узкоспециализированные участки, оснащенные специальным оборудованием, расположенным по ходу технологического процесса, что облегчает условия поточного метода, комплексную механизацию, автоматизацию и внедрение передовой технологии, в том числе технологии комбинированного производства деталей (совмещенного с термической и механической обработкой и т. п.). Наиболее технологичным является массовое производство поковок одного вида и типоразмера на каждом агрегате. В этом слу-

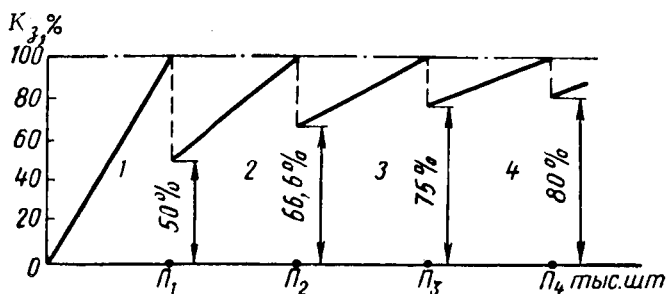


Рис. 14. Зависимость коэффициента загрузки оборудования K_z от выпуска поковок; Π_1, Π_2 и т. д. — программы выпуска, кратные годовой производительности единицы оборудования; 1, 2 и т. д. — соответствующее число единиц оборудования

чае возможна организация постоянных поточных линий с регламентированным ритмом непрерывного потока, являющихся наиболее эффективными. Однако массовое производство допускает изготовление нескольких типоразмеров или видов поковок, если переналадка инструмента не сложна, а число операций остается неизменным. Плановый выпуск поковок должен быть кратен возможной производительности агрегата во избежание значительного уменьшения коэффициента загрузки оборудования. Например, если производительность агрегата 1000 шт. поковок, а программа 1100 шт. поковок, то приходится устанавливать два агрегата с коэффициентом загрузки $\frac{1100 \cdot 100}{2 \cdot 1000} = 55\%$, что нецелесообразно с экономической точки зрения. Поэтому обычно объем задания согласовывают с возможностями имеющегося в наличии оборудования, поскольку в условиях централизации и кооперирования производства программа выпуска может корректироваться. На рис. 14 приведен график изменения загрузки оборудования, из которого видно, что увеличение программы выпуска до величины Π_1 приводит к увеличению загрузки оборудования до 100%. Дальнейшее повышение программы выпуска требует установки второй единицы оборудования, что вначале сопровождается уменьшением его загрузки до 50%, при этом 100%-ная загрузка восстанавливается лишь при увеличении программы выпуска до величины Π_2 , превышение которой вновь сопровождается уменьшением загрузки до 66,6%. Каждая последующая единица оборудования приводит вначале ко все меньшему снижению его загрузки, и при более четырех единиц оборудования потеря в загрузке незначительна (менее 20%).

Если на данном специальном агрегате изготавливают поковки двух или нескольких типоразмеров, то возникают осложнения, связанные с необходимостью ритмичного выпуска каждого из них. Такое производство поковок не отличается от серийного их

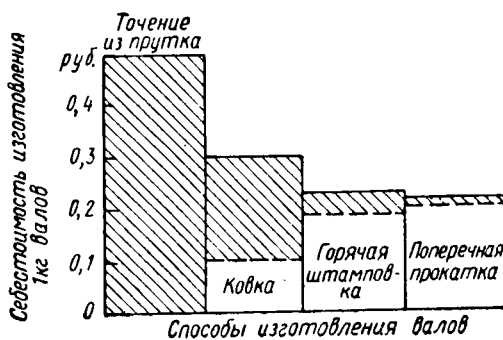


Рис. 15. Примерная себестоимость поковок и деталей небольших валов, изготавливаемых различными способами. Заштрихованные участки характеризуют стоимость обработки резанием

производства. Выполнить годовую программу выпуска каждой из поковок без подразделения на квартальную, месячную и т. д. нельзя из-за значительного увеличения оборотных средств, ухудшения их оборачиваемости, трудностей, связанных с поставкой исходных металлов, и необходимостью в больших промежуточных складах, что в конечном счете противоречит самой идее поточного производства. Чередование производства различных поковок обычно согласовывают с месячной или декадной программой, а момент перехода к изготовлению другой поковки приурочивают к остановке оборудования, вызванной необходимостью замены изношенного инструмента, или переналаживают его в нерабочее время.

Значительные осложнения в чередовании изготовления поковок появляются при серийном производстве. Большинство кузнечно-штамповочных цехов при серийном производстве располагает 30—60 единицами основного оборудования при номенклатуре поковок 300—750 шт., т. е. на долю каждой единицы оборудования в среднем приходится не менее 10—15 поковок. Если учесть, что на каждый тип поковок устанавливается месячная программа, то легко представить, насколько значительны потери производительности при 120—180 ежегодных переналадках инструмента для каждой единицы оборудования.

Кроме снижения производительности и уменьшения эффективности использования машин-орудий, систематическая переналка при серийном производстве сопровождается увеличением цеховых расходов и в конечном счете повышением себестоимости продукции, которая является одним из основных показателей, определяющих эффективность производства. Себестоимость должны рассчитывать с учетом расходных статей всего технологического процесса изготовления деталей, а не только технологии производства поковок. На рис. 15 дан пример, из которого следует, что стоимость изготовления поковок не всегда является показательным фактором, так как (в данном случае) наиболее дешевую деталь (вал) изготавливают из наиболее дорогостоящей поковки (получена поперечно-винтовой прокаткой на специальном стане) вследствие наименьших расходов на механическую обработку и потерь в стружку при переходе от поковки к детали. На графике стоимость механической обработки заштрихована.

При сравнении себестоимости изготовления поковок сталкиваемся с одним несовершенством этого показателя. Затраты на металл обычно составляют 50—60% себестоимости поковок (остальное — заработная плата рабочих, энергозатраты и другие цеховые расходы) и могут изменяться в несколько раз в зависимости от применяемой марки стали. Это не дает возможности сопоставлять себестоимости поковок, изготавливаемых из различных металлов. Для таких сравнений более показательны коэффициент использования металла и стоимость обработки 1 т металла. К числу показателей, также характеризующих технологическое совершенство производства, относятся трудоемкость и сьем поковок с каждого квадратного метра цеховой площади.

Кузнечно-штамповочное производство из года в год технически и организационно совершенствуется, чему способствуют исследовательские и экспериментальные работы, проводимые отраслевыми научно-исследовательскими институтами, лабораториями заводов и вузов. Технологические процессы разрабатывают на базе научно обоснованных методов, сущность которых изложена в обширной литературе по специальности и регламентируется соответствующими ГОСТами (на размерные ряды кузнечно-штамповочного оборудования, конструкцию и крепежные размеры инструмента, припуски, допуски и напуски для поковок и др.), а также ведомственными материалами. Обмен опытом осуществляется с помощью различных отраслевых и заводских бюллетеней, а также журналов «Кузнечно-штамповочное производство» и «Вестник машиностроения».

Ниже перечислены наиболее прогрессивные нововведения в технологиюковки и штамповки.

К усовершенствованиям в области подготовительных операцийковки следует отнести ковку без биллетеровки, осуществляемую для ряда поковок, в том числе и для крупных поковок. Нововведением является ковка с использованием неравномерных температурных полей, позволяющая сосредоточить наибольшую деформацию в нужном месте объема заготовки и повысить качество металла, что особенно важно для крупных слитков. Опробываются новые формы кузнечных слитков, спроектированных с учетом не только требований металлургов (условия кристаллизации металла и т. п.), но и технологииковки (оптимальная прорабатываемость металла и т. п.). Усовершенствованы режимыковки, особенно в связи с применением новых, более современных конструкций кузнечного инструмента (бойки с переменным углом выреза, рельефные бойки, устраняющие резкую затрудненность деформации отдельных участков объема заготовки, бойки, обеспечивающие непрямолинейный фронт подач, что интенсифицирует проработку литой структуры и др.). Значительно увеличивается масса откованных поковок (в перспективе до 400 т и более). Рациональные способы секционной штамповки, ковка дисков «плавающим» бойком и т. д. также улучшают технологиюковки; на отдельных

заводах внедрены устройства программного управления для контроля и обеспечения точных размеров поковок при ковке на гидравлических прессах. Внедряются комплексные агрегаты, включающие пресс, манипулятор и установки для измерения хода прессы, расходуемой энергии и затрачиваемого времени на ковку.

Внедрены и работают на отдельных заводах установки для точной дозировки заготовок по размерам и массе (с колебанием объема до $\pm 1,25\%$). Это, в свою очередь, способствует расширению номенклатуры поковок, штампуемых в закрытых штампах без заусенцев, а также другими способами точной штамповки.

В области объемной штамповки следует также упомянуть о расширении номенклатуры поковок, получаемых выдавливанием, освоении многоразъемных штампов, малоотходной штамповке в открытых штампах, в закрытых с компенсатором, с противодавлением, скоростной штамповке на специальном оборудовании, изотермических процессах. Начинает внедряться штамповка в режиме сверхпластичности, успешно решаются вопросы сложного фасонирования заготовок на различных вальцовочных установках и т. п. На отечественных заводах работают полностью автоматизированные горячештамповочные агрегаты, обеспечивающие штамповку в несколько переходов из прутков диаметром до 75 мм при темпе выпуска 50, 60 и даже 70 шт. в минуту. Достигнуты успехи в технологии нагрева заготовок перед штамповкой; электронагрев, скоростной пламенный и безокислительный нагрев. Имеются достижения в области холодной и полугорячей объемной, высокоскоростной и импульсной штамповки, а также калибровки поковок. Проводятся работы по усовершенствованию проектно-конструкторских технологических разработок. Применение машинных способов проектирования технологии позволяет оптимизировать поиск решений, что практически было невозможно при безмашинном проектировании. Эти достижения стали возможны при оснащении кузнечного и кузнечно-штамповочного производства соответствующим оборудованием.

В настоящее время промышленность СССР изготавливает около 600 типоразмеров кузнечно-прессовых машин, выпуск которых непрерывно увеличивается: 34,6 в 1965 г., 41,3 в 1970 г., 50,7 в 1975 г. тыс. единиц. Это свидетельствует о перспективности и дальнейшем развитии кузнечно-штамповочного производства.

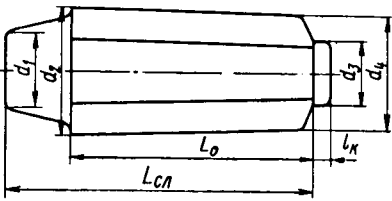
ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПОДГОТОВКА ДЛЯ КОВКИ, ШТАМПОВКИ

1. Слитки, болванки, прутки

В качестве исходного материала для кузнечно-штамповочного производства применяют металлы в виде слитков, проката различных профилей, прессованных прутков и даже жидкий металл. В соответствии с учебной программой в настоящем учебнике преимущественно будут рассмотрены стальные материалы.

Дляковки, штамповки используют сталь, получаемую в мартенах, конвертерах и электропечах. Дляковки существенное значение имеет способ выплавки стали, в результате которого получают сталь, подразделяемую на спокойную и кипящую. Спокойная сталь, раскисляемая полностью до разливки, застывает в плотные слитки, с сосредоточенной в прибыльной части (при разливке сверху) усадочной раковины. Ее отделяют вместе с прибыльной частью слитка в процессековки. При разливке кипящей стали раскисление происходит в изложнице, причем, несмотря на бурное выделение газов, получаемые слитки имеют большое число пузырей и пустот по всему сечению. Для непосредственнойковки кипящая сталь менее пригодна, так как в слитках из нее трудно обеспечить полную заварку пустот и пузырей в процессековки. Однако после прокатки эту сталь применяют для штамповки.

Стальные слитки. В качестве исходного металла слитки применяют дляковки в кузнечном производстве. Штамповка литых заготовок имеет незначительное применение в кузнечно-штамповочном и специализированном производствах. Литые заготовки получают не в обычных изложницах, а в формах с конфигурацией, близкой к поковке. Обычные кузнечные слитки отливают сверху в изложницы с полостью, имеющей форму усеченной пирамиды и поперечное сечение шести-, восьми- или двенадцатиугольника. Начали применять слитки и с большим числом граней, вплоть до 24. Форма слитка учитывает условия кристаллизации металла и требования к поковке. В отлитом слитке к нижнему (меньшему) основанию пирамиды примыкает донная, а к верхнему — прибыльная части слитка, составляющие, как уже указывалось, отходы сталелитейного цеха, удаляемые в кузнечном цехе. В табл. 4 приведены некоторые размеры слитков, выплавляемых

										
Масса, т	Отходы, %		Размеры, мм							
	донной части	прибыль- ной части	d_1	d_2	d_3	d_4	$L_{сл}$	L_o	$D_{ср} = \frac{d_2 + d_4}{2}$	$\frac{L_o}{D_{ср}}$
1,2	0,8	22,0	325	455	140	345	1410	1000	400	2,5
2	0,8	22,5	430	550	200	380	1610	1160	465	2,5
3	0,8	21,6	500	630	200	450	1860	1350	540	2,5
6,5	2,6	21,2	630	795	296	580	2265	1650	687	2,4
9	2,4	20,2	720	895	397	670	2530	1825	782	2,3
15	2,0	20,6	875	1070	397	870	2830	2030	970	2,1
26	2,2	20,0	1040	1265	542	1000	3574	2420	1132	2,1
52	2,0	20,9	1325	1600	623	1330	4250	3060	1465	2,1
85	1,7	19,0	1576	1880	623	1580	4990	3600	1730	2,1
130	1,75	21,4	—	2164	628	1820	5750	4150	1992	2,1
170	1,9	21,0	1975	2360	800	1960	6460	4525	2160	2,1
250	3,1	21,4	2280	2700	770	2230	7745	5100	2465	2,1
350	2,8	18,3	2350	3255	1200	2660	8190	6000	2957	2,0

на заводах СССР по различным ведомственным нормам, мало отличающимся друг от друга (ГОСТ на размеры слитков еще не разработан).

Как видно из этой таблицы, отходы, приходящиеся на донную часть слитков, не превышают 2—3% (если ограничиваются удалением участков l_k). При обрубке донной части по телу слитка отходы увеличиваются до 5—8% (как правило, это относится к легированной стали). Отход на прибыльную часть составляет 18—22%, а для легированной стали в отдельных случаях достигает 30% и более. Отношение наибольшей длины L_o , используемой для изготовления поковок, к среднему поперечному размеру $D_{ср}$ слитка обычно не превышает 2,5. Размеры слитков, указанные в табл. 4, не являются предельными. Слитки меньших размеров (но не менее 200 кг) чаще применяют для высоколегированных сплавов. Слитки массой более 350 т могут быть использованы для уникальных изделий. Емкость мартеновских печей (1000 т и более) обеспечивает получение слитков большой массы без применения слива металла из разных печей.

Однако при ковке таких слитков производство столкнется с определенными трудностями. При ковке на прессе усилием 150 МН максимальный диаметр слитка не должен превышать 3400 мм. В связи с отсутствием крана соответствующей грузоподъемности можно работать на сдвоенных кранах, но это создает неудобства при выполнении некоторых операций. Известные трудности связаны также с необходимостью переоборудования печного хозяйства для нагрева слитков очень больших масс.

Номенклатура слитков, приведенных в табл. 4, позволяет широкое варьирование их подбором в зависимости от массы и конфигурации поковок.

Удлиненные слитки. В промышленности используют удлиненные слитки с отношением $\frac{L_o}{D_{cp}} = 3 \div 5$, если отсутствует осадка или предусмотрена разрубка слитка на части. Здесь прибыльная часть является продолжением пирамидальной формы слитка. Отходы при отделении прибыльной части слитка составляют всего около 12%, а донной части 1—3%. Химический состав металла удлиненных слитков однороднее состава металла обычных слитков, а металл имеет большую плотность за счет меньшего количества пустот и пузырей; это позволяет уменьшить уковку для устранения следов литой структуры при ковке. Из табл. 5 видны преимущества удлиненных слитков перед обычными при их ковке. В отечественной промышленности освоена отливка удлиненных слитков массой до 12 т.

Таблица 5

Сопоставление показателей для обычных и удлиненных слитков

Масса слитка, т	Выход годного, %	Продолжитель- ность нагрева перед ковкой, ч	Экономия от применения удлиненных слитков, %	
			Топлива	Машинного времени
3,8	59,8	12,0	54	31
2,95	77,0	5,5		
4,2	64,0	12,0	54	25
3,5	77,0	5,5		
7,3	61,0	17,5	60	35
5,8	77,0	7,0		
12,0	63,2	19,3	68	37
10,5	77,0	13,0		

Примечание. Цифры в числителе относятся к обычным, а в знаменателе — к удлиненным слиткам.

Разновидностью кузнечных слитков являются полые слитки, которые могут быть получены, например, разливкой в изложницы со вставленными в них холодильниками. Этот способ опробован в СССР для слитков массой до 80 т. В изложницу помещают тонкостенную трубу, внешний диаметр которой соответствует диаметру отверстия полого слитка (для 80 т слитка этот диаметр составляет 800 мм, толщина стенки трубы 15 мм).

Перед заливкой металла в изложницу в трубу вставляются стальные стержни для предотвращения ее расплавления и деформирования. Хорошо себя зарекомендовали стержни секторного сечения, которые прилегают к внутренней стенке трубы, распираемые коническими пробками с обоих концов. По окончании заливки изложницы стержни извлекают из трубы, а на их место устанавливают холодильник водяного действия. Внешние размеры и форма полого слитка такие же, как и у обычного сплошного слитка, исключение составляет несколько меньшая его длина (отношение $L_{сл} : D_{ср} = 1,25$). У этих слитков важным условием для кристаллизации является соотношение $L_{ср} : \delta \approx 4$ (δ — толщина стенки полого слитка). Применение полых слитков эффективно для поковок с отверстиями, так как устраняется операция прошивки. Нагрев полых слитков может быть менее продолжительным, чем нагрев сплошных слитков, без предварительных выдержек и проходить до более высоких температур. Эти слитки не имеют осевой рыхлости и внецентренной ликвации, за исключением предпробыльной части слитка.

Малопробные слитки получают при подогреве и специальном утеплении надставки в период заливки и остывания стали в изложнице. Металл, находящийся относительно продолжительное время в жидком состоянии, питает небольшую по объему зону усадочной раковины, которая оказывается высоко расположенной. Коэффициент выхода годного при ковке из таких слитков достигает 0,84—0,87.

Беспробные слитки получают в обычных изложницах с недоливом. Раковина получается небольшой по сечению, но удлиненной, что удобно для полых поковок, у которых середина удаляется прошивкой.

Слитки с повышенной конусностью (до 12° вместо обычных 5°) применяют для укорачивания области, в которой расположена усадочная раковина. Компактная раковина получается в результате уменьшения перемещения металла вдоль оси слитка в процессе его остывания.

Увеличенная конусность слитка способствует повышению однородности металла, что приводит к уменьшению разброса показателей механических свойств по сечению слитка.

На УЗТМ отливают слитки массой до 70 т конусностью 12° . На этом же заводе применяют слитки с двойной конусностью корпуса массой до 13 т восьмигранного сечения и крупные слитки с тройной конусностью. Число граней слитка в большой степени

Рис. 16. Распределение углерода по оси слитка массой 19 т из стали 55Х:

I—I; II—II; III—III — уровни, соответствующие различным зонам слитка

обусловлено кристаллизацией металла. Технологи-кузнецы вынуждены приспособлять условияковки и форму инструмента к данному профилю сечения слитка. В Московском институте стали и сплавов разработана конструкция трехлепесткового девятигранного слитка, который удовлетворяет одновременно требованиям кристаллизации иковки в вырезных и комбинированных бойках (см. рис. 130).

Основной причиной неоднородности механических свойств по сечению слитка является его химическая неоднородность и, в частности, различное содержание углерода в разных местах слитка. На рис. 16 приведены результаты исследований двух слитков массой 19 т из стали 55Х. Определяли содержание углерода вдоль их оси, которое в пределах конусной средней части слитка (размер L_0) изменяется от $\sim 0,5$ до $0,75\%$, т. е. в 1,5 раза, а по всей длине более чем в 2 раза.

На рис. 17 приведены аналогичные данные, характеризующие распределение углерода по радиусам в разных местах (по длине) слитка. Здесь по оси ординат показано содержание углерода, а по оси абсцисс — относительное расстояние от оси слитка (в %). Неоднородность распределения углерода в радиальном направлении повышается по мере приближения к прибыльной части слитка, причем наибольшая неоднородность соответствует уровню I—I (см. рис. 16) вблизи перехода конусной части слитка к прибыльной, где она увеличивается в 1,4 раза. Исследование показало, что, несмотря

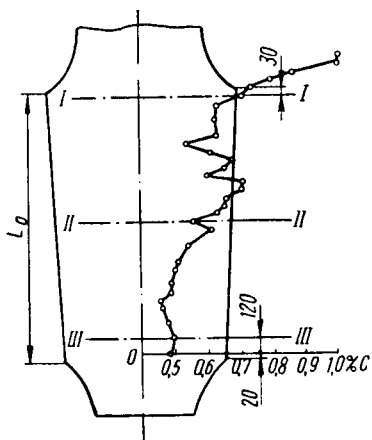
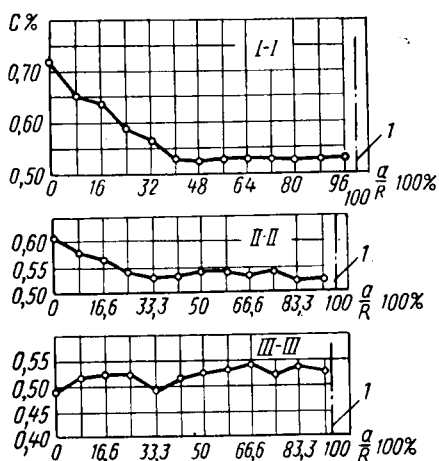


Рис. 17. Распределение углерода по радиусу слитка массой 19 т в различных зонах:

a — расстояния от оси слитка до места взятия пробы; R — радиус слитка на различных уровнях (I—I; II—II; III—III); 1 — край слитка

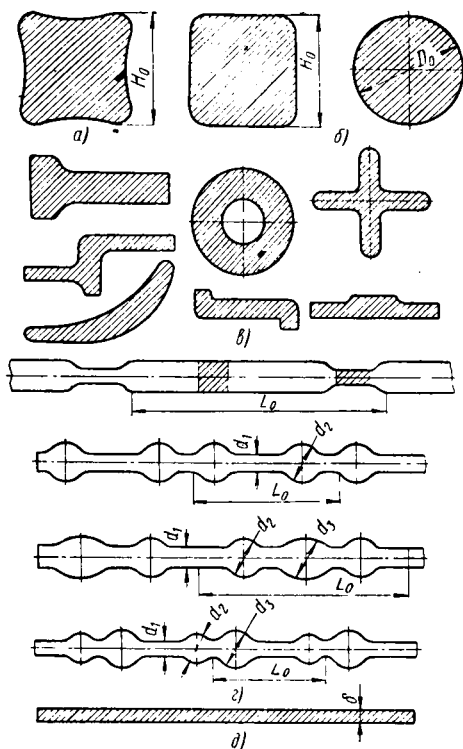


Рис. 18. Типы прокатных профилей дляковки и штамповки:

H_0 — сторона квадрата; D_0 — диаметр заготовки; L_0 — длина периода или мерной заготовки; δ — толщина полосы

на уменьшение содержания углерода по направлению к периферии от оси слитка, предел прочности у края слитка выше, чем вблизи оси, что является результатом рыхлости металла слитка под усадочной раковинной.

Помимо химической неоднородности качество металла снижает количество дефектов, имеющих в слитках. Кроме усадочной рыхлости, пустот и пузырей в слитках могут быть трещины и плены. Ковка и термическая обработка приводят к улучшению качества литого металла.

Катаный металл. Для штамповки применяют прокат черных металлов разнообразных профилей (рис. 18). Дляковки используют прокат только простейших профилей (рис. 18, а, б), из полученных после его разрубки заготовок изготавливают поковки небольших и средних размеров. Прокат поставляют согласно ГОСТам по габаритным размерам, профилям, точности размеров и маркам стали. Поковки изготавливают из обычной углеродистой конструкционной, инструментальной и специальных сталей различного химического состава и качества.

К этим сталям относятся углеродистая обычного качества (группа А, металл которой поставляется по показателям механических свойств, группа Б — по химическому анализу с нормальным и повышенным содержанием марганца) и качественная конструкционная сталь. Из специальных марок сталей для изготовления поволоков применяют качественные и высококачественные (у них рядом с обозначением марки ставится буква А), а также селективные, содержащие легирующие элементы в меньших пределах, чем это оговорено в соответствующих ГОСТах.

Для штамповки используют все виды проката нормальной и повышенной точности, а также калиброванный металл по 3-му, 4-му и 5-му классам точности.

Обжатая болванка (блюм) (рис. 18, а). В поперечном сечении она представляет собой квадрат с закругленными ребрами. Размеры H_0 стороны болванок составляют 140—450 мм с допусками от ± 5 до ± 10 мм при минимальной длине 1 м и максимальной 6 м. Этот вид заготовки применяют для относительно больших поковок.

Сортовой прокат (рис. 18, б). К нему относится катанка круглого и квадратного сечений.

Диаметр заготовки 5—200 мм, а размеры сторон квадратного сечения 6—250 мм при торговой длине 2—6 м.

Профильный прокат (рис. 18, в) позволяет сократить подготовительные операции и значительно упростить процесс штамповки, при этом стоимость поковок обычно снижается.

Прокат периодического профиля (рис. 18, г) имеет неодинаковые поперечные сечения по длине. Получают его продольной прокаткой (с образованием и последующей обрезкой местного заусенца) или поперечной прокаткой на специальных станах, устанавливаемых иногда даже в кузнечных цехах.

Прокат периодического профиля находит большое применение в крупносерийном производстве поковок, так как при штамповке фасонных заготовок исключаются подготовительные операции.

Полосовая заготовка (рис. 18, д) для горячей штамповки применяется толщиной более 5 мм. Наибольшее распространение получила углеродистая полосовая сталь. Применяют также конструкционную сталь, специальную, качественную и высококачественную.

Из цветных металлов для горячей штамповки применяют сплавы алюминиевые, медные, магниевые, титановые и др.

В последние годы значительно расширилась номенклатура применяемых для машиностроения металлов и сплавов. Например, современный автомобиль состоит из деталей, изготовленных из 70 различных сплавов. В специальном машиностроении и для нужд новой техники используют сплавы сложных составов на основе вольфрама, ниобия, молибдена и сплавы, содержащие такие элементы, как бериллий, цирконий, кобальт и др. Новые сплавы сложного состава поступают в обработку в виде слитков дуговой и электронно-лучевой плавки.

Цены на металл зависят от вида профиля, точности прокатки данного сплава и от требований, предъявляемых к металлу техническими условиями. При повышенных требованиях к металлу взимается дополнительная плата. К ним относится размер проката (мерность или кратность длины, допуск по диаметру), величина зерна, дополнительные ограничения в химическом составе металла и т. д.

Разновидности заготовок. На склады исходных материалов штамповочных цехов металл поступает в виде прутков так называемой торговой длины (2—6 м). Наибольшее распространение получили прутки длиной 2—4 м. В отдельных случаях штамповку

осуществляют непосредственно от прутка (высадка на горизонтально-ковочных машинах и концевая штамповка перпендикулярно оси заготовки на прессах и молотах). При работе на автоматах часто применяют бунтовую заготовку. Индивидуальные заготовки по профилю подразделяют на простые и фасонные. К заготовкам простого профиля относятся круглые, квадратные и прямоугольные.

Фасонные заготовки имеют постоянное или переменное сечение вдоль оси и более сложную конфигурацию, которая может быть получена литьем, ковкой, предварительной штамповкой, прокаткой или вальцовкой. Заготовки простого и фасонного профилей бывают штучными, спаренными и многостучными.

По размерам заготовки подразделяют на мерные, кратные и произвольной длины (в пределах торговой и меньшей длины).

2. Разделка исходных материалов на заготовки

В отличие от типичных операций обработки металлов давлением разделительные операции основаны на потере устойчивости, совершаются с нарушением прочностных свойств металла и представляют собой неравномерный процесс с ярко выраженной локализацией деформации. Поскольку процесс резки является нестационарным, изучение его следует вести с учетом стадий этого процесса.

Разделка слитков является операциейковки и поэтому здесь не рассматривается. Исключение составляют слитки из высоколегированной стали, которые разрезают на пилах или анодно-механических установках.

Прокатный металл на заготовки разделяют обычно в заготовительном отделении кузнечно-штамповочного цеха.

Резка на ножницах и в штампах. Наиболее дешевой, производительной и распространенной разделкой прутков на заготовки является резка их на кривошипных ножницах. Резка в штампах обходится дороже, но она точнее. Рабочими деталями ножниц являются нижний 1 и верхний 2 ножи, упор 3 и прижим 4 (рис. 19). Пруток 5 лежит на рольганге 6 перпендикулярно режущим кромкам ножей и на нижнем неподвижном ноже 1 вплотную к подвижному упору, при помощи которого удаляется отрезанная мерная заготовка 7.

Резка металла происходит в три стадии (упругой, пластической и скола) и по следующей схеме (рис. 20). В момент

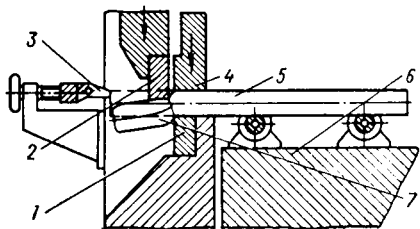


Рис. 19. Схема резки прутков на ножницах

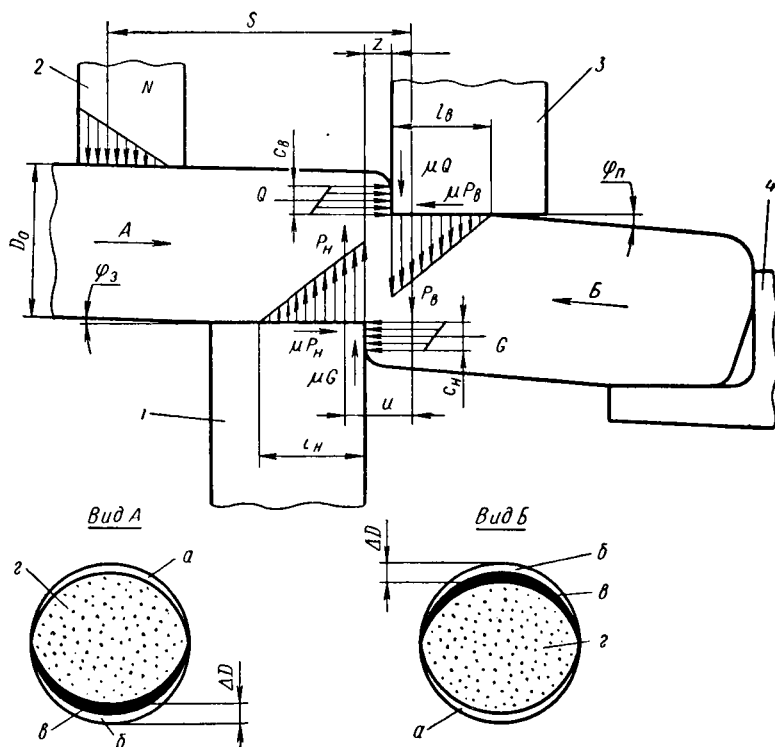


Рис. 20. Схема действующих сил в конце 2-й стадии процесса резки круглого прутка на ножницах:

а — участки $l_{\text{в}}$ и $l_{\text{н}}$ смятия металла ножами; *б* — зоны утяжки; *в* — площадки блестящих поясков наибольшей ширины $c_{\text{в}}$ и $c_{\text{н}}$; *г* — поверхность скола металла; 1 и 3 — ножи; 2 — прижимное приспособление ножниц; 4 — подвижный упор

надавливанию ножей 1 и 3 на прутки размером D_0 в нем возникают упругие деформации. Под действием смежно расположенных ножей образуется пара сил с моментом $P_{\text{в}}$ и, стремящаяся повернуть и изогнуть прутки, вследствие чего каждый нож касается прутка только частью рабочей поверхности, под которой металл подвергается смятию. Здесь наблюдается неравномерное распределение напряжений смятия, которые возрастают вследствие увеличения степени и сопротивления деформации по мере приближения к режущей кромке ножа. Повороту прутка, продвинутого до подвижного упора 4, препятствует сила N прижимного приспособления 2 ножниц. В момент, когда напряжения от действия ножей становятся больше сопротивления пластической деформации металла, происходит их внедрение в прутки; при этом по месту реза образуются блестящие пояски. Внедрение ножей сопровождается

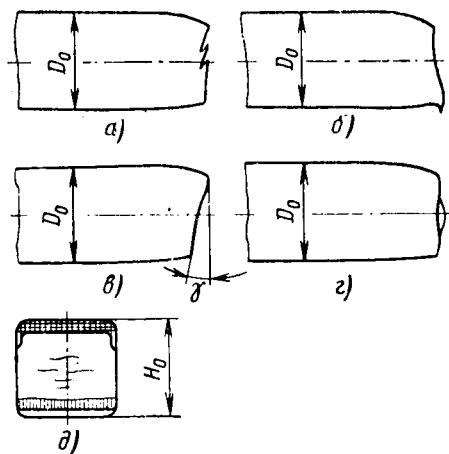


Рис. 21. Дефекты при резке пруткового металла

утяжкой соседних с ножами участков металла. Так как на левую часть прутка действуют сила P_n нижнего ножа и сила N прижима, препятствующая повороту этой части прутка, а на правую — отрезаемую часть прутка — сила P_v , способствующая повороту конца прутка на угол φ_n , то угол $\varphi_n > \varphi_z$. Эти углы, характеризующие неодинаковое смятие металла верх-

ним и нижним ножами, называют углами смятия. С учетом силы N и массы прутка силы, действующие со стороны верхнего и нижнего ножей, тоже неодинаковы ($P_v < P_n$), в связи с чем $c_n > c_v$. Чем меньше расстояние до упора (т. е. $l_{заг}$), тем больше это отличие.

По достижении максимально возможной для данной стали величины внедрения ножей ΔD (виды А и Б) образуются встречные трещины, профиль которых виден на рис. 19. Вначале появляется трещина со стороны нижнего, а затем — со стороны верхнего ножа. Эти трещины иногда называют опережающими, так как они опережают проникновение ножа в металл.

На рис. 20 кроме внешних сил P_v и P_n обозначены контактные силы трения (μQ и μP_v у верхнего и μG и μP_n — у нижнего ножей), а также силы Q и G от расклинивания металла между ножами, сопровождающегося увеличением зазора между ними.

При нормальной величине зазора z между ножами противоположные трещины сходятся, образуя сплошную, но криволинейную поверхность отделения заготовки от прутка. Если зазор z меньше оптимального, то направления трещин не сходятся, образуется новая трещина, которая соединяет концы двух предыдущих с образованием козырьков на срезанной поверхности (рис. 21, а). При штамповке такой заготовки получаются складки. Большой зазор z при резке мягкой стали вызывает значительную утяжку и заусенцы, что, в свою очередь, может привести к браку (рис. 21, б).

Причиной повышенного скола γ (рис. 21, в) является большой угол φ_n поворота прутка к моменту скола (см. рис. 20) вследствие недостаточной силы N прижимного устройства, большого расстояния S или слабого прижатия прутка к упору. Если сталь недостаточно пластична, то по месту скола образуются вырывы (рис. 21, г). При резке недостаточно прогретой легированной стали

получаются трещины по месту скола, они направлены вдоль оси заготовки параллельно рабочим кромкам ножей (рис. 21, *б*).

Практически установлено, что номинальный зазор z должен составлять примерно 2—4% от толщины разрезаемого прутка:

Диаметр D_0 или сторона квадрата H_0 , мм	50	51—80	81—100	101—120	121—150
Зазор z мм	До 1	1,0—2,5	1,5—2,5	2,5—3,5	3,5—5,0
%	2	2	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5

При затуплении ножей увеличивается зазор между ними. Быстрее изнашивается нижний нож, на который действуют большие напряжения, чем на верхний, и который разогревается до более высоких температур при горячей резке.

Вследствие износа и упругого раздвижения ножей силами Q и G фактический зазор обычно больше номинального и достигает 5—6% от D_0 .

С учетом неодинаковой толщины реза с края и в средней части прутка (круглого и при резке квадратного прутка по диагонали) применяют переменный зазор — больший в средней части режущих кромок ножей.

Условия резки металла характеризуются относительной глубиной надреза

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_0},$$

где ΔD — наибольшая глубина внедрения ножа в заготовку в момент появления скола, D_0 — номинальный диаметр заготовки.

Сопротивление срезу

$$\sigma'_{\text{ср}} = \frac{P}{F_{\text{ср}}},$$

где $F_{\text{ср}}$ — площадь сечения заготовки за вычетом площади внедрения ножа.

Максимуму на кривой в координатах $\sigma_{\text{ср}} - \varepsilon$ (рис. 22) соответствует величина $\sigma'_{\text{ср}}$, при которой возникают опережающие трещины. После соединения трещин сопротивление срезу резко снижается.

Твердая сталь характеризуется относительно небольшой глубиной внедрения ножа в заготовку ($\varepsilon = 0,12 \div 0,15$) и большим сопротивлением срезу (кривая 1). Для мягкой стали (кривая 2) характерны значительная глубина пластического внедрения ножа в заготовку ($\varepsilon = 0,35 \div 0,40$), но небольшое напряжение в момент скалывания, поэтому на резку мягкой и твердой сталей затрачивается примерно одинаковое количество работы.

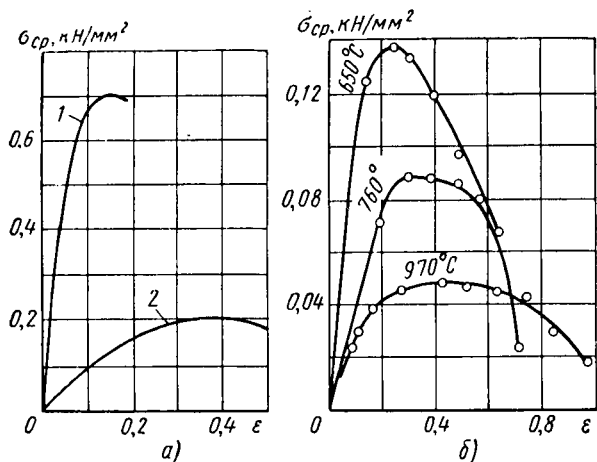


Рис. 22. Зависимость сопротивления срезу при резке ножами от относительной глубины надреза твердого и мягкого металла (а) и от его температуры (б)

Площадь, ограниченная в известном масштабе кривой сопротивления резанию (рис. 22), определяет работу резки

$$A_p = \int F_{ср} D_0 \sigma_{ср} d\varepsilon.$$

Легированную сталь, особенно при больших сечениях заготовок, режут в нагретом состоянии. С увеличением температуры нагрева (рис. 22, б) значение максимума на кривых уменьшается, а глубина пластического внедрения ножей увеличивается (абсцисса максимума). Чем больше сечение прутка, тем больше усилие резки и тем целесообразнее применять подогрев металла для уменьшения сопротивления деформации.

Заготовки из мягкой стали при резке подвергаются значительному смятию ножами. Подогрев стали до 250—350° С, как известно, приводит к увеличению сопротивления деформации, но и к хрупкому разрушению, что используется для получения более чистого среза прутков из очень мягкой стали. Среднеуглеродистую сталь обычно нагревают при резке больших сечений (свыше 120—150 мм). Высокоуглеродистую и легированную стали нагревают (выше 350° С) для уменьшения сопротивления деформации и во избежание образования трещин при резке.

Практически эти стали нагревают до 400—700° С в зависимости от их химического состава и габаритных размеров заготовок. Нагрев до более высоких температур приводит к недопустимому искажению форм заготовок при резке на ножницах и к интенсивному образованию окалины. Если металл поступает в неотожженном состоянии, то его также целесообразно подогревать перед резкой.

К недостаткам процесса резки на ножницах следует отнести низкую точность и кривизну профиля среза. Вследствие непостоянства кривизны и трудности ее контроля искажением формы заготовок пренебрегают, что приводит к уменьшению коэффициента использования металла. Еще большие потери металла наблюдаются при появлении чрезмерной косины среза (угол γ на рис. 21, в).

На практике угол γ достигает 12° . При достаточно жестком прижме и креплении ножей, а также при расположении прутка под углом $84\text{--}87^\circ$ к направлению движения верхнего ножа и уменьшении угла заострения режущей кромки на $3\text{--}6^\circ$ можно добиться того, чтобы $\gamma \leq 2\text{--}3^\circ$, однако это проще осуществить при резке в штампах.

Резка прутков в штампах. Для повышения точности размеров заготовок и качества среза применяют специальные отрезные штампы, устанавливаемые на кривошипных прессах.

Повышенное (в $3\text{--}5$ раз) число ходов прессов по сравнению с ножницами сопровождается соответственным увеличением скорости резки, что приводит к уменьшению глубины пластического внедрения и увеличению зоны скола. Профиль среза становится ровней, чем при резке прутков на ножницах, а усилие резки несколько увеличивается.

При резке прутков в штампах используют следующие схемы: 1 — резку незакрепленного прутка с образованием естественного скола в результате образования опережающих трещин; 2 — резку поперечно или радиально закрепленного прутка в отрезных штампах и 3 — резку прутка при его продольном (осевом) сжатии.

Первая схема в технологическом отношении не отличается от схемы резки прутков на ножницах. Вторую схему применяют в нескольких разновидностях, среди которых наиболее распространена резка в ножах цельновтулочной формы. Для свободного размещения прутка во втулках размер их отверстия принимают несколько большим размера прутка с плюсовым допуском. Это приводит к перекосам прутка на первой стадии резки и изгибу на последующей стадии, которая затем осуществляется по схеме резки с поперечным закреплением прутка. Качество резки прутков таким способом выше, чем при обычной резке.

Более совершенной разновидностью процесса является процесс по второй схеме с применением ножей в виде сопряженных полу-втулок. Добиться полного прилегания рабочей поверхности втулок данного размера к пруткам, имеющим различный допуск на диаметр, не удастся, однако зазор между полувтулками и прутком в направлении сопряжения полувтулок исключается и искривление прутка и заготовки не происходит, так как прутки зажаты между полувтулками. На рис. 23 показано начало второй стадии резки круглого прутка, наклоненного под углом α к направлению движения ножа, с переменным чечевицеобразным зазором между ножами, каждый из которых состоит из двух сжимающих прутков полувтулок. При резке прутка квадратного сечения по диагонали

переменный зазор имеет форму ромба. Сила сжатия прутка полу-
втулками не меньше силы, требующейся для резки прутка.

Режущие плоскости ножей направлены перпендикулярно от
прутка, но расположены под углом α к направлению движения
ножа. Этот угол несколько меньше угла γ косины среза при резке
по первой схеме (см. угол γ на рис. 21). Угол α , зазор z и попереч-
ный размер прутка связаны между собой зависимостью

$$z = \operatorname{tg} \alpha D_0.$$

В частном случае угол $\alpha = 3^\circ$ при $z = 0,05$. По данным
ЭНИКМАША, в практических расчетах можно ориентироваться
на $\alpha = 4^\circ$ как среднюю величину, соответствующую зазору между
ножами, равному 7% от D_0 . По литературным данным, для прут-
ков стали и цветных металлов $\alpha = 2,5 \div 9^\circ$ (большее значение для
более крупных сечений прутков). Величина α зависит и от предела
прочности металла:

σ_B , кН/мм ²	0,45	До 0,7	До 1	Более 1
α°	7	5	2,5	0

Эта зависимость позволяет не применять наклона прутка и
резать металл с минимальной косиной γ заготовок при $\sigma_B \geq$
 ≥ 1 кН/мм². Прутки из углеродистой стали с $HB > 200$ можно
резать по второй схеме при $\alpha = 0$ и $z = 0$, т. е. без зазора и на-
клона прутка.

По описанной схеме можно резать заготовки длиной $L_0 \geq$
 $\geq 0,6D_0$, а из твердой стали даже $(0,3-0,4) D_0$.

Резка по третьей схеме отличается от всех остальных способов
резки, поскольку обеспечивает пластический сдвиг одной части
прутка относительно остальной его части без образования опе-
режающих трещин и зоны скола. Зазор в плоскости резки в дан-
ном случае не только не нужен, но и вреден. Для обеспечения

этой схемы резки применяют втулочные
составные ножи и осевую подсад-
ку заготовки до устранения зазоров
между прутком и отверстием втулок
в их сопряженном положении. Уси-
лие сжатия полувтулок должно быть
достаточным для преодоления разжи-
мающего их давления при посадке
заготовки. Таким образом, до начала
резки металл находится в объемном
напряженном состоянии сжатия, ис-
ключающем нормальное трещинооб-
разование при деформации сдвига. За-
готовки, отрезанные по этому слож-

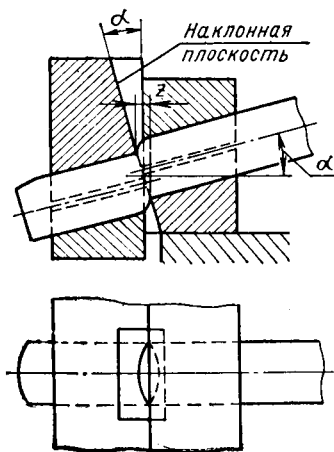


Рис. 23. Положение прутка при его резке с
наклоном α и при переменном зазоре между
ножами

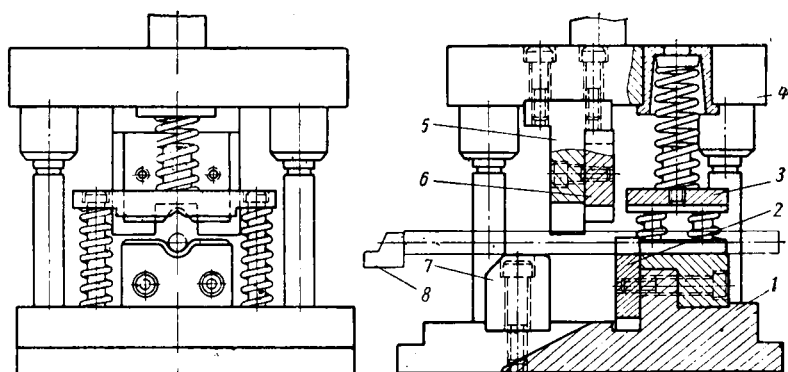


Рис. 24. Одноопорный штамп для резки прутковых заготовок на кривошипном прессе:

1 — нижняя плита; 2 — нижний нож; 3 — прижимная планка; 4 — верхняя плита; 5 — державка; 6 — верхний нож; 7 — противоотжим; 8 — упор

ному (по исполнению) способу, имеют плоскую и достаточно гладкую поверхность без какой-либо косины ($\gamma = 0$). Кроме этих преимуществ при сдвиговом процессе можно отрезать наиболее короткие заготовки. Например, в Московском станкоинструментальном институте были получены этим способом заготовки с $H_0 = 0,1D_0$ при точности по длине $\pm 0,1$ мм. К недостаткам способа кроме сложности осуществления следует отнести повышенные энергозатраты и усложненную конструкцию штампа. Однако перспективность сдвигового процесса отрезки заготовок несомненна, поскольку он обеспечивает точность не только по длине, но и по поперечным размерам, т. е. дозирование по массе заготовок. При этом к исходному прутку можно не предъявлять требования по точности; круглый пруток, например, может быть даже овальным (несортным). Сдвиговой резке можно подвергать также фасонные профили. Очевидно, в будущем этот процесс может быть применен для предварительной фасонировки с последующей обрезкой и заключительной точной штамповкой поковок.

Резка в простейшем одноопорном штампе (рис. 24) по схеме действия ножей не отличается от резки ножницами, поэтому особых преимуществ (за исключением зажатия прутка и точного направления ножей в штампе с колонками) она не имеет. Штамп, выполненный по схеме двухопорного (рис. 25), разрезает одновременно две заготовки одинаковой или разной длины. Эта схема резки отличается повышенной устойчивостью прутка, расходом энергии и усилием пресса. Формы каждой пары получаемых заготовок отличаются друг от друга различным расположением правых и левых ножей. При неодинаковой длине заготовок каждой пары одна из них попадает в тару через окно в плите штампа и в столе пресса, а другая — по наклонной плоскости плиты в тару, вне пресса.

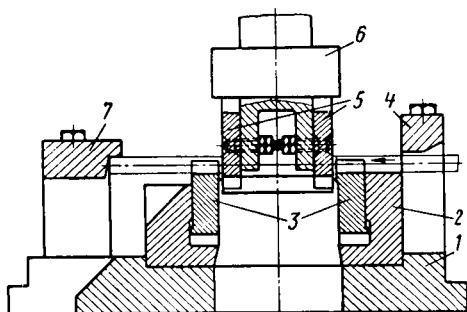


Рис. 25. Двухрольный штамп для одновременной отрезки двух заготовок:

1 — нижняя плита; 2 — державка нижних ножей; 3 — нижние ножи; 4 — направляющая скоба; 5 — верхние ножи; 6 — державка верхних ножей; 7 — упор

Если на ножницах нормальная резка происходит при относительной длине

заготовки $\frac{L_0}{D_0} \geq 0,7 \div 0,8$, то в описанных штампах для прутков среднеуглеродистой стали $\frac{L_0}{D_0} = 0,5 \div 0,6$. При резке такой твердой стали как ШХ15 можно получить и более короткие заготовки $\frac{L_0}{D_0} \geq 0,3$.

Резка заготовок в штампе с круглыми ножами (рис. 26) точнее, чем резка обычными ножами. Круглыми ножами, как правило, разрезают калиброванные прутки. Длина отрезаемых заготовок равна нескольким диаметрам прутка. Это обусловлено значительной длиной ножей, разрезающих прутки без прижимного устройства. Поворот ножа на угол, равный 60° , обеспечивает шестикратное его использование с каждой стороны (всего 12 раз). В качестве машины-орудия для резки в штампах используют кривошипные прессы, конструкция которых рассчитана на макси-

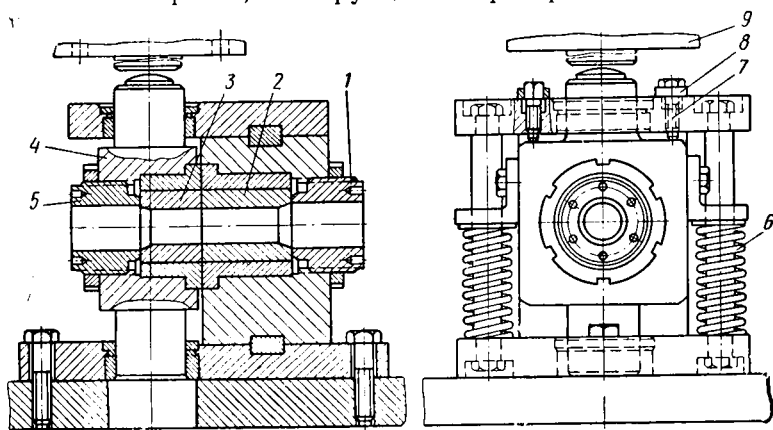


Рис. 26. Штамп с круглыми ножами для резки калиброванных прутков:

1 — гайка с входным отверстием для прутка; 2 — втулочный неподвижный нож; 3 — подвижный нож; 4 — державка подвижного ножа; 5 — гайка с выходным отверстием для заготовки; 6 — пружина возврата ножа в исходное положение; 7 — установочный винт; 8 — регулируемый фиксатор, обеспечивающий соосность ножей; 9 — нажимная плита прессы

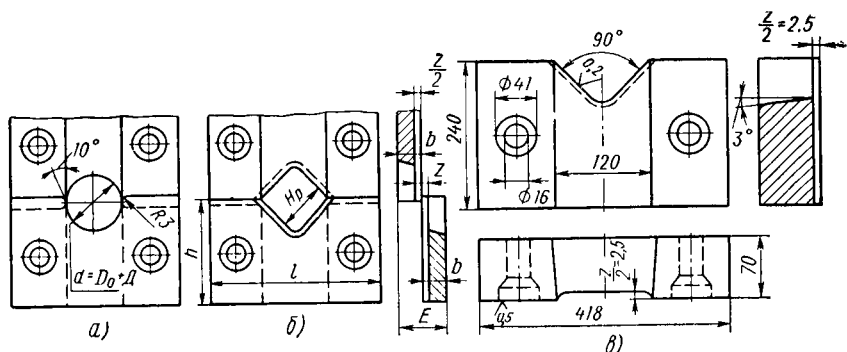


Рис. 27. Ножи в рабочем положении:

а — для круглых прутков; б — для прутков квадратного сечения; в — для ножниц усилием 4,4 Мн

мальное усилие не в конце хода, а несколько раньше его (на угол поворота $\sim 20\text{--}30^\circ$ до конца рабочего хода) и аналогична, например, конструкции обрезающих прессов. Поэтому при использовании для резки прутков штамповочных прессов, рассчитанных на наибольшее усилие в конце хода, нельзя ориентироваться на их номинальное усилие, указанное в паспорте.

Получают распространение отрезные штампы более сложной конструкции, но обеспечивающие повышенную точность по длине заготовок и меньшее искажение поверхности среза, что позволяет уменьшить потери металла. Для этого штампы должны иметь зажим заготовки постоянной или переменной силы, а также прекращать зажим в момент образования скола. Известна конструкция штампа с автоматическим регулированием силы поперечного зажатия прутка и отрезаемой заготовки. Работа подобных штампов основана на программном сжатии полувтулочных ножей.

Конструкция рабочего инструмента. Габаритные размеры ножей должны соответствовать размерам ножевого пространства ножниц. Ширина (толщина) b ножей определяется в зависимости от схемы их установки. Если ножи находятся друг от друга на расстоянии, равном величине зазора z , то

$$b = \frac{E - z}{2};$$

если ножи скользят друг по другу на холостом ходу ножниц, то

$$b = \frac{E}{2},$$

где E — расстояние между плоскостями крепления ножей, мм.

Для получения необходимого зазора в ножах предусмотрены пазы глубиной $\frac{z}{2}$ (рис. 27). Эта схема работы ножей удачнее

первой, так как обеспечивает параллельность их движения и автоматическое регулирование нужных зазоров. Толщина ножей практически составляет 0,4—0,5 от D_0 .

Высоту ножей h подбирают исходя из расстояния между опорными плитами ножей $H_{\max}$, равного так называемой открытой высоте ножевого пространства ножниц, и величины перекрытия ножей C :

$$h = \frac{H_{\max} + C}{2}. \quad (1)$$

Наличие перекрытия ножей исключает их удары друг о друга: его может не быть только в штампах с колонками.

Перекрытие практически составляет величину:

D_0 или H_0 , мм	40	60	80	100	120	160	180	250
C , мм	16,8	18,4	20,0	22,0	24,4	28,8	32,0	41,0

Длину ножей l устанавливают по соответствующему размеру ножевого пространства ножниц.

Радиус R рабочей выемки ножей для резки круглых прутков (рис. 27, а) должен обеспечивать свободное размещение прутков в отверстиях между ножами с учетом верхнего отклонения от номинального размера при прокатке. Меньший радиус может вызвать раскалывание ножа, а больший — смятие прутка. Однако для свободного размещения прутка, у которого могут быть заусенцы, оставшиеся от резки в прокатном цехе, рекомендуется увеличивать R на 2%.

При резке круглых профилей для каждого размера прутка предусматривают отдельную пару ножей. Ножами, предназначенными для резки прутков квадратного сечения, можно резать прутки и неодинакового размера при $H_0 \leq H_p$ (H_p — наибольший размер стороны квадратного сечения прутка, разрезаемого на данных ножницах, рис. 27, б).

Режущие кромки ножей имеют прямой или острый угол, при этом скос ножа не превышает $\sim 5^\circ$ (на рис. 27, в скос равен 3°).

Наличие скоса ножа облегчает резку, но приводит к увеличенному смятию металла, поэтому такие ножи не следует применять при резке мягкой стали или стали, нагретой до высоких температур.

Прутки квадратного сечения можно резать по стороне или по диагонали. Во втором случае смятие металла получается меньше, поверх-

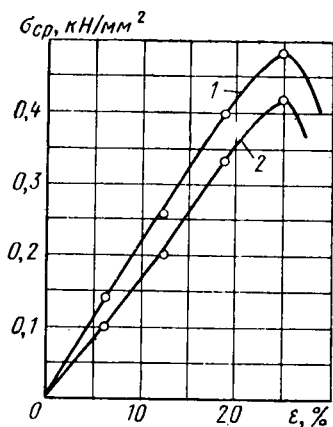


Рис. 28. Сопротивление срезу при резке прутков среднеуглеродистой стали квадратного сечения:

1 — по стороне; 2 — по диагонали

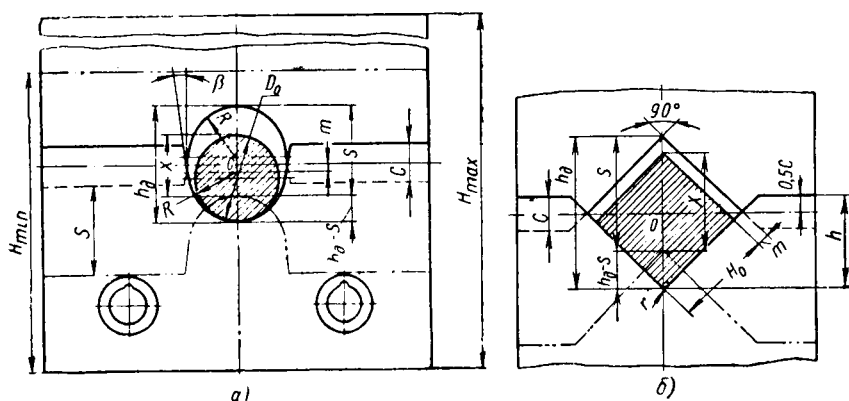


Рис. 29. Схема построения ручья ножа для разрезки круглых (а) и квадратных (б) прутков (по В. Л. Раскинду)

ность среза чище, а затрачиваемая работа и усилие на 15—20% меньше (рис. 28).

Профиль рабочей выемки ножей строят следующим образом. По найденным габаритным размерам ножей и величине хода ножей вычерчивают ножи в положении полного раскрытия (расстояние между нерабочими торцами ножей составляет $H_{\max}$) и отмечают нижнее положение верхнего ножа (при этом фиксируют размер $H_{\min}$). Одновременно определяют размер перекрытия ножей C . При построении рабочей выемки для разрезки круглых прутков (рис. 29) используют уже известную величину радиуса R рабочей выемки ножей. Для того чтобы облегчить установку прутка в отверстие между ножами, ему придают овальную форму с наибольшим расстоянием между кромками ножей h_d , при этом расстояние между центрами выемок ножей

$$2m = 2 (0,05 \div 0,2) R. \quad (2)$$

Откладывая от центра системы O вверх и вниз отрезки, равные m , находят центры выемок радиуса R . Для развала выемок вертикальные стенки их выполняют под углом $\beta = 8 \div 12^\circ$. Из рис. 29, а видно, что полезная часть рабочего хода верхнего ножа

$$X = D_0 - (h_d - S),$$

где S — полный ход ножа.

Гарантийная величина полезного хода должна соответствовать

$$X \geq (0,8 \div 0,9) D_0. \quad (3)$$

Минимальная величина полезного хода может быть установлена по графикам зависимости усилия от пути резки (рис. 22). Положение максимума на этих кривых по оси абсцисс определяет момент разделения прутка на части. При увеличении хода ножа

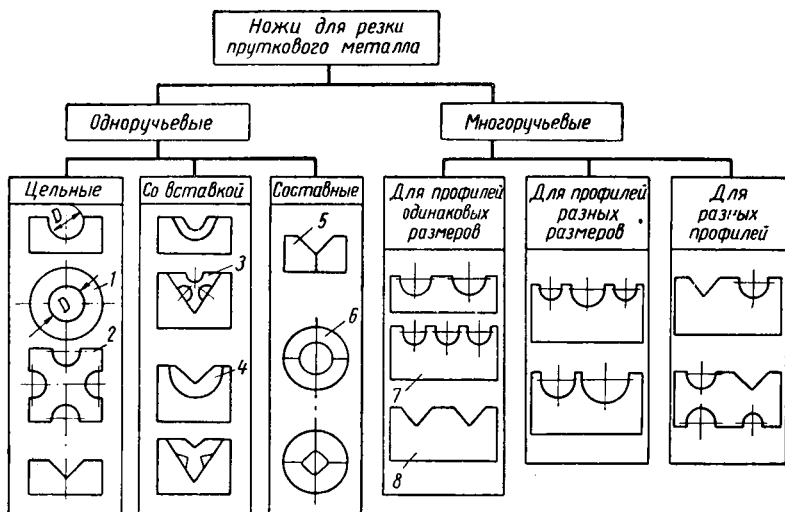


Рис. 30. Классификация ножей

до размера X заготовка проталкивается до свободного падения в тару.

Инструмент для резки квадратных прутков конструируют следующим образом (рис. 29, б). Для определения глубины рабочей выемки h_b при резке по диагонали прутка со стороны H_0 составляют уравнение по схеме расположения ножей:

$$h_b = (H_0 + m) \cos 45^\circ + 0,5C. \quad (4)$$

При наибольшем допустимом прутке величина просвета $m = 0,05H_0$.

После соответствующей подстановки находят $h_{\min} \approx 0,8H_0 + 8$ мм. Если размеры разрезаемого прутка меньше расчетной величины H_0 , то необходимо проверить, достаточна ли полезная часть рабочего хода ножниц для разрезки такого прутка. Разрезка и проталкивание квадратных заготовок гарантируются при коэффициенте сдвига

$$k_c = 1 - \frac{h_d - S}{1,4H_0} \geq 0,7. \quad (5)$$

Ножи бывают (рис. 30) одноручьевые, многоручьевые, цельные, разрезные и со вставками. Круглые цельные ножи 1 и состоящие из двух полутолтулок 6 применяют в штампах. Среди одноручьевых ножей встречаются ножи 2 с запасными рабочими выемками на различных гранях инструмента, используемыми поочередно. Многоручьевые ножи 7 и 8 позволяют резать поочередно или одновременно в двух или в трех ручьях, расположенных на общей грани инструмента. Для лучшего использования инстру-

ментальной стали ручки могут быть расположены на одной, двух, трех и даже четырех гранях ножей 2, 3 и 4. С этой же целью каждую рабочую выемку можно использовать с двух сторон (если угол рабочей кромки 90°).

Ножи со вставками применяют для экономии инструментальной стали, причем у каждой вставки ручки могут быть расположены на одной или нескольких гранях для поочередного их использования. Составные ножи 5 применяют для резки по диагонали крупных прутков квадратного и прямоугольного сечений. Многоручьевые ножи имеют увеличенные габаритные размеры, но относительный расход стали, идущей на их изготовление, меньше, чем на одноручьевые.

Кроме того, они обеспечивают более высокую производительность, так как не требуют замены до момента затупления рабочих кромок всех речьев (если ручки одинаковые) или при переходе на резку другого профиля (если ручки разные). При наличии различных рабочих выемок, расположенных рядом, можно резать круглые прутки нескольких размеров, не заменяя ножа.

При изменении размеров прутков квадратного профиля наличие дополнительных рабочих выемок у ножей не требуется.

Для увеличения стойкости ножей успешно применяют наплавку рабочих кромок твердыми сплавами. Для этого по кромке ножа выполняют канавку (обычно 10×10 мм), заполняемую твердым сплавом. Для изготовления ножей используют следующие основные инструментальные стали 5ХГТ, 5ХГМ, 4ХС, 8ХЗ, У10 и др.

Определение усилия при резке. Ножницы могут иметь кривошипный, эксцентриковый или кулачковый привод. В отличие от прессов ножницы имеют небольшое число ходов (9—45 ход/мин для ножниц усилием 0,4—16 МН, ГОСТ 8248—67).

Усилие резки

$$P_p = k F_{cp} \sigma_{cp}, \quad (6)$$

где P_p — усилие резки, МН; k — коэффициент, учитывающий затупление ножей, влияние скорости резки и др. (по опытным данным $k = 1,7$); F_{cp} — площадь среза, m^2 ; σ_{cp} — сопротивление срезу, МН/ m^2 (по рис. 22 принимают наибольшее значение σ_{cp} для каждого случая).

Принимая $\sigma_{cp} = 0,8\sigma_v$,

$$P_p = 1,4 F_{cp} \sigma_v, \quad (6')$$

где σ_v — предел прочности разрезаемого металла при температуре резки.

После подсчета P_p выбирают ножницы из размерного ряда, при этом необходимо ориентироваться на равное или ближайшее большее значение усилия ножниц P_n относительно расчетного. Аналогично рассчитывают усилие прессов при резке в штампах. Учитывая большую скорость резки на прессах, усилие P_p увеличивают на 10—20%.

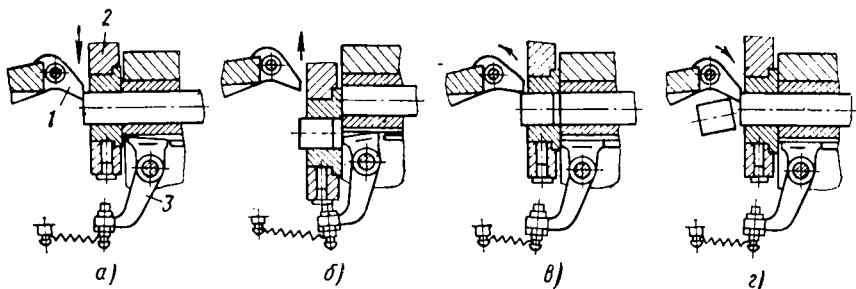


Рис. 31. Автоматический упор при резке прутков втулочными круглыми ножами

В кузнечных цехах применяют до 15 типоразмеров ножниц усилием на ножах 0,24—24,5 МН. В каталогах, помимо усилия, обычно указывают наибольшие размеры прутков, которые можно разрезать на ножницах каждого типа. Обычно усилие прессы отнесено к стали при $\sigma_b = 440 \text{ МН/м}^2$.

Для того чтобы установить, какой наибольший размер прутка допускается при резке металла с другим пределом прочности, нужно сделать соответствующий пересчет.

Например, для квадратных прутков со стороной сечения H_1 получим

$$P_p = 1,4 F_{\text{ср}} \sigma_b = 1,4 H_1^2 \sigma_b', \quad (6'')$$

где H_1 — допустимый размер прутка стали с большим или меньшим пределом прочности, чем $\sigma_b = 440 \text{ МН/м}^2$,

σ_b' — предел прочности стали, для которой выполнялся пересчет, откуда

$$H_1 = 0,83 \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_b'}}. \quad (7)$$

Для круглых прутков

$$D_1 = 0,96 \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_b'}}. \quad (7')$$

На качество и точность резки заготовок большое влияние оказывают вспомогательные механизмы ножниц, особенно механизмы упора и прижима заготовки. На современных ножницах эти механизмы выполнены в виде гидравлических, пневматических или пружинно-рычажных систем.

При резке круглых заготовок кольцевыми ножами хорошо работает устройство упора, показанное на рис. 31. Пруток перед отрезкой упирается в шарнирный упор 1 (рис. 31, а). После отрезки заготовки подвижный нож 2 вместе с обоймой перемещается вниз и надавливает на регулируемый стопорный болт выталкивателя 3, который, поворачиваясь, надавливает верхним концом с выступом на мерную заготовку и выдвигает ее из кольцевого ножа (рис. 31, б). Теперь при движении ножа вверх (рис. 31, в) выступающая из

него заготовка наталкивается на зуб упора *1* и приподнимает его. Это позволяет прутку вытолкнуть окончательно из кольцевого ножа отрезанную заготовку. В этот момент зуб упора возвращается в исходное положение (рис. 31, *з*), а передвигаемый пруток вновь упирается в зуб упора *1*, что позволяет совершать очередную отрезку мерной заготовки.

Проблема минимального расхода металла на детали машин тесно связана с точностью размеров, объема и массы штучных заготовок, предназначенных для штамповки. Исходя из опасности попадания в брак поковок из-за недостаточности объема заготовок, технологи вынуждены ориентироваться на заготовку с минимальным объемом, тогда как все более массивные заготовки (из-за колебания их размеров) содержат неоправданный избыток металла. Потери металла усугубляются также неоправданными затратами на удаление избыточного металла при штамповке. Для представления о размерах этих потерь приводится табл. 6.

Из данных таблицы следует, что при диаметре прутков 20—100 мм отклонения в объеме заготовок достигают 4,5—9,0% при обычной точности прокатки. Меньшие цифры соответствуют прокату повышенной точности, но он на 8% дороже, а калиброванный металл обходится дороже на десятки процентов, что значительно

Таблица 6

Суммарные отклонения объема для мерных заготовок при резке прутков различной точности прокатки на ножницах

Номинальный диаметр прутка D_0 , мм	Сталь прокатная (ГОСТ 2590—71)		Сталь калиброванная (ГОСТ 1051—73) по классу точности		
	Обычная точность	Повышенная точность	5	4	3
<i>Отклонения по диаметру, мм</i>					
20	+0,4; -0,5	+0,2; -0,4	-0,28	-0,14	-0,045
40	+0,4; -0,7	+0,2; -0,6	-0,34	-0,17	-0,05
60	+0,5; -1,1	+0,3; -1,0	-0,40	-0,20	-0,06
100	+0,6; -1,7	+0,5; -1,5	-0,46	-0,23	—
<i>Отклонения по объему за счет допусков прокатки, %</i>					
20	9,0	6,0	2,8	1,4	0,45
40	6,2	4,1	1,7	0,85	0,25
60	5,3	4,3	1,3	0,66	0,20
100	4,5	4,0	0,9	0,46	—
<i>Суммарные отклонения по объему за счет допусков прокатки и резки, %</i>					
20	12,2	9,2	6,0	4,6	3,65
40	8,2	6,1	3,7	2,85	2,25
60	7,3	6,3	3,3	2,66	2,20
100	6,1	5,6	2,5	2,06	—

отражается на себестоимости деталей машин, так как доля металла в их себестоимости всегда превышает 50—60 % (подробно об этом см. гл. IX).

Отклонения объема вследствие допусков на прокатку $\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{ном}}} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\text{ном}}}$ действительны для заготовок любой длины, поскольку в максимальный, минимальный и номинальный объемы входит одна и та же длина заготовки данного диаметра, которую можно сократить и подсчет выполнять по площадям. Суммарные отклонения относятся к заготовкам длиной 300 мм и при следующих допусках на резку:

D_0 , мм	...	20	40	60	100
$\pm$, мм	...	0,8	1,0	1,5	2,0

Из этих данных следует, что отклонения по объему заготовок любой длины за счет допусков при прокатке могут отличаться между собой в десятки раз ($9 : 0,45 = 20$; $6,2 : 0,25 = 25$; $5,3 : 0,2 = 26$), тогда как у мерных заготовок указанной длины после резки на ножницах — только в несколько раз ($12,2 : 3,65 = 3,3$, $8,2 : 2,15 = 3,6$; $7,3 : 2,2 = 3,3$).

Допуски на резку увеличивают отклонения объема заготовок тем больше, чем выше точность прокатки прутков. Поэтому резка калиброванного металла на ножницах нецелесообразна.

Эти соображения принимают во внимание при выборе способа дозирования объема заготовки. Дозировка по данным измерения диаметра прутка с пересчетом на длину заготовки — наименее точна, так как на показания точечных датчиков влияют местные неровности. Ошибка измерения уменьшается с увеличением диаметра прутка, поэтому способ применением при $D_0 \geq 80$ мм.

При дозировке по массе длину эталонной заготовки определяют с учетом массы пробной расчетной заготовки, которая может быть получена только после второго реза, так как концы прутка имеют другую форму.

Дозировка по средней массе погонной единицы длины осуществляется на основании данных автоматического взвешивания всего прутка с использованием ЭВМ. По этим данным исполнительный механизм автоматически устанавливает упор на длину заготовки необходимой массы. Этот способ является достаточно совершенным, так как обеспечивает дозировку с точностью до 3 % при колебании площади сечения в пределах 15 %, что позволяет использовать прокат обычной точности и даже круглые прутки низкой точности, например овальные прутки средних и крупных сечений. В установке резка предыдущего прутка совмещается по времени со взвешиванием последующего прутка. Эта установка дает возможность определять оптимальный раскрой. Дело в том, что при резке прутков торговой длины на мерные заготовки длиной $L_{\text{заг}}$ от каждого из них остается немерный отход, равный в среднем $0,5L_{\text{заг}}$. ЭВМ дает возможность уменьшить этот отход,

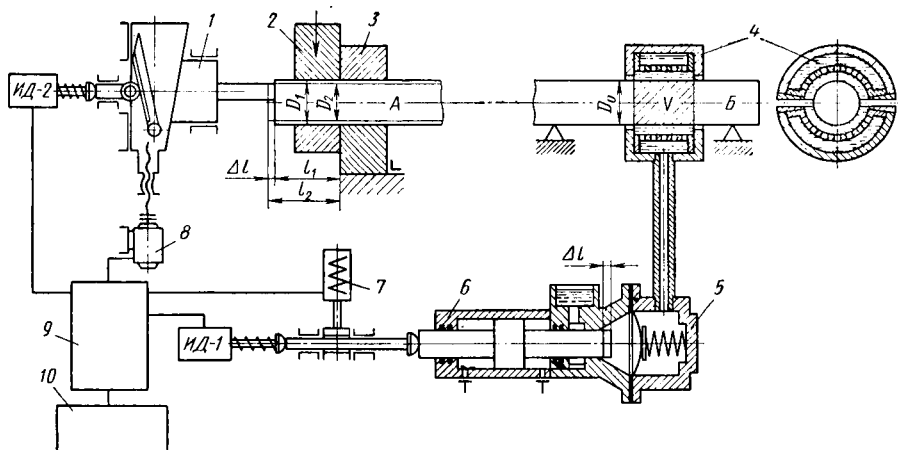


Рис. 32. Схема дозирующего устройства с гидравлическим датчиком (Мос-
станкин)

учитывая фактическую массу прутка и массы различных требующихся мерных заготовок из прутков данного сечения.

Рациональный способ дозировки заготовок по данным измерения объема прутка на определенном участке его длины разработан в Московском станкоинструментальном институте на базе гидравлического датчика. Положение упора ножниц или штампа корректируется по данным непосредственного измерения единицы длины прутка до его разрезки. Установка (рис. 32) имеет пульт управления 10, регулируемый клиновой упор 1, отрезной штамп с втулочными ножами 2 и 3, измерительную головку 4 и исполнительный гидравлический цилиндр 6 с диафрагменным регулятором 5. Пруток A диаметром D_0 направляется в измерительную головку 4, нажимает на конечный выключатель, который заставляет сомкнуться половинки измерительной головки 4 вокруг прутка. Одновременно плунжер цилиндра 6 перемещается вправо, обеспечивая через диафрагму регулятора 5 подачу жидкости в измерительную головку 4 такого количества, которое необходимо для прижатия эластичной оболочки (в головке) к прутку B . Соответствующее положение плунжера цилиндра 6 фиксируется индукционным датчиком ИД-1 с помощью электромагнита 7 и компенсационного датчика ИД-2. Оба эти датчика соединены между собой по мостовой схеме и подключены к блоку управления 9. При отклонении объема заготовки $V_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} l_2$ от соответствующего объема $V_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} l_1$ в предыдущем прутке A новое положение плунжера цилиндра 6 будет отличаться на некоторую величину Δl , что вызывает ток рассогласования между датчи-

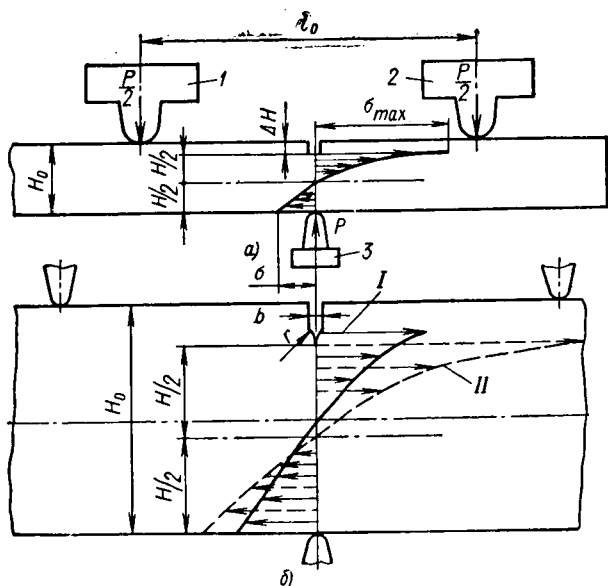


Рис. 33. Схема концентрации напряжений при ломке прутков с надрезом:

I — эпюра напряжений в начале нагружения; *II* — то же в момент ломки прутка

ками ИД-1 и ИД-2 и включение электродвигателя 8, регулирующего через клиновую систему положение упора 1. Процесс дозировки очередного прутка совмещен по времени с процессом резки предыдущего прутка. Установка обеспечивает отклонение объема заготовок не более чем на $\pm 1\%$. При необходимости разрезки нагретого металла гидравлический датчик устанавливают перед нагревателем, так как датчик не приспособлен для работы при высоких температурах.

Ломка прутков на холодноломе. При деформации надрезанных образцов возникает концентрация напряжений.

При резко выраженной концентрации напряжений наблюдается понижение пластичности и хрупкое разрушение металла. Это объясняется тем, что местные напряжения вблизи надреза могут превысить предел прочности раньше, чем среднее напряжение в сечении достигнет предела текучести металла; при этом образуется трещина и почти мгновенно разрушается образец без значительной пластической деформации.

Скорость распространения трещин в подобных случаях достигает 1000 м/с, что составляет примерно 0,2 от скорости распространения упругой волны в стали. Эти явления используют для разделки прутков на мерные заготовки с помощью так называемых холодноломов. Холоднолом (рис. 33) представляет собой

устройство, состоящее из двух опор 1 и 2, устанавливаемых на расстоянии l_0 , и ломателя 3, между которыми размещается пруток, подлежащий ломке (рис. 33, а). При ломке прутка в вертикальной плоскости ломатель 3 может быть расположен над прутком и под ним. По условиям безопасности работы рекомендуется устанавливать ломатель под прутком (рис. 33). По той же причине для хладнолома предпочитают вертикальные прессы.

Перед ломкой пруток размечают и надрезают. При ломке прутка надрез должен находиться с противоположной стороны ломателя посередине между опорами во избежание появления косины и значительной волнообразности контура излома. Под действием силы P вблизи надреза возникают растягивающие напряжения, которые, концентрируясь и возрастая в опасном сечении (см. эпюры напряжений на рис. 33, б), обеспечивают ломку прутка почти без пластической деформации. В этом случае рабочий ход равен не более 5—10% от величины H_0 . В момент ломки эпюра напряжений проходит через середину сечения с учетом надреза

$$H/2 = \frac{H_0 - \Delta H}{2}.$$

Большое значение для ломки имеют форма и размеры надреза: чем глубже, уже надрез и чем меньшим радиусом он выполнен при данной его глубине, тем в большей степени проявляется концентрация напряжений. Максимальное растягивающее напряжение $\sigma_{\max}$ у нижнего края надреза глубиной ΔH , выполненного радиусом r и шириной b , равной двойному радиусу, достигает величины

$$\sigma_{\max} = 2\sigma_y \sqrt{\frac{\Delta H}{r}}, \quad (8)$$

где $\sigma_y < \sigma_t$ — напряжение при отсутствии концентрации напряжений.

Надрез прутков — самая трудоемкая операция в общем процессе ломки. В промышленности надрезают пилами или газовыми (огневыми) резаками (рис. 34). Очертания надреза должны быть правильной формы. При использовании изношенного резака профиль надреза искажается (рис. 34, а). Это приводит к неровностям по месту излома или к дополнительным трещинам и браку заготовок. Известны попытки надреза прутков электроискровым способом, в этом случае надрез на глубину ΔH выполняют почти без потерь металла, он имеет правильный контур при очень малых ширине b и радиусе r закругления.

Разметку для надреза осуществляют делительными устройствами в штабелях для металла или на рольганге перед хладноломом. Расположение надреза глубиной ΔH в зависимости от профиля прутка показано на рис. 34, б. Минимально необходимая длина надреза l зависит от структуры или твердости металла,

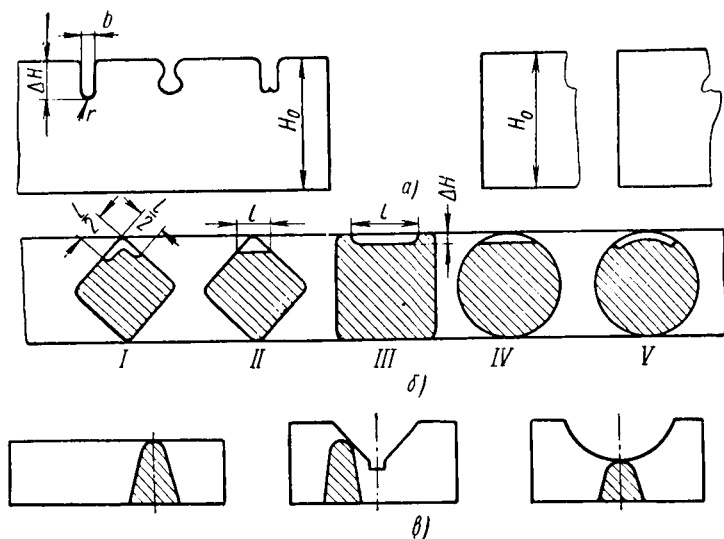


Рис. 34. Расположение надреза на прутках различного профиля и форма применяемых ломателей:

I, III, V — надрез газовым резаком; II и IV — надрез пилой

подвергающегося ломке. Ниже приведена длина надрезов, применяемых в промышленности в зависимости от твердости металла.

Твердость, МН/м ²	2245	2500	2790
Длина надреза l в % от толщины прутка	40—50	30—40	15—20

Превышение этих длин заметного эффекта не дает. Глубину надреза принимают равной 3—8% от H_0 .

Для прутков из твердой (заэвтектоидной) стали диаметром 120 мм надрез глубиной 5 мм, шириной 3 мм и длиной 20 мм дает вполне удовлетворительное качество скола при ломке. Глубину надреза можно также приблизительно рассчитать по эмпирической формуле

$$\Delta H = k \sqrt[3]{H_0}, \quad (9)$$

где k — коэффициент, равный 1—2 и зависящий от пластичности стали (для хрупкой стали k имеет меньшее значение).

При увеличении глубины надреза количество затрачиваемой энергии на ломку уменьшается, но качество торца сломанной заготовки снижается. В ломку поступает металл толщиной 70—300 мм и более. При ломке прутков меньшей толщины получить ровный излом труднее. Очень мягкие стали склонны к пластическому изгибу при ломке и не дают сквозных трещин. В этом случае целесообразен нагрев стали до 250—300° С, увеличивающий ее хрупкость.

Форма ломателя зависит от сечения заготовки. На рис. 34, в показаны профили ломателей. Усилие ломки на хладноломах зависит не только от химического состава стали, ее структуры, толщины прутка, профиля и размеров надреза, но и от расстояния l_0 между опорами в хладноломе. Зависимость сопротивления ломки $\sigma = \frac{P}{F}$ (F — площадь сечения прутка в месте надреза) от относительного расстояния между опорами $f = \frac{l_0}{H_0}$ в хладноломе показана на рис. 35, а, а от относительной глубины надреза $\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$ — на рис. 35, б. Приблизительно усилие для ломки можно определить по схеме расчета на изгиб балки с опорами по обе стороны от нагрузки, которая принимается сосредоточенной.

В данном случае

$$P = \frac{4W_{\text{изг}}\sigma_{\text{изг}}}{l_0}, \quad (10)$$

где $W_{\text{изг}}$ — момент сопротивления изгибу, м^3 ; $\sigma_{\text{изг}}$ — предел прочности при изгибе, МН/м^2 ; l_0 — расстояние между опорами, м.

При таком расчете получают завышенные результаты, поэтому для учета роли концентрации напряжений и упрощения расчета (в том числе для замены $\sigma_{\text{изг}}$ на $\sigma_{\text{в}}$ как на более известную величину) вводят коэффициент поправки $\beta < 1$.

Для надрезов, глубина которых находится в пределах, получаемых по формуле (9), коэффициент $\beta = 0,4 \div 0,9$. При этом расчетные формулы получают следующий вид (табл. 7).

Усилия, затрачиваемые на ломку прутков, значительно ниже усилий для резки их ножами. Для получения качественного излома длина мерных заготовок при ломке не должна быть менее $1,2H_0$ (H_0 — сторона квадрата или диаметр прутка).

Вариант устройства для ломки прутков (рис. 36) имеет следующие особенности. Пруток диаметром D_0 перемещается по на-

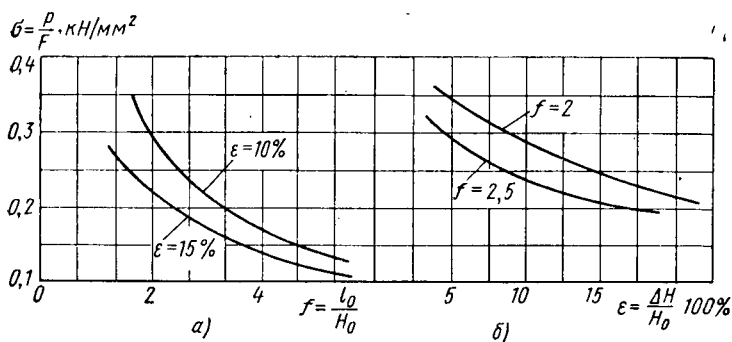


Рис. 35. Зависимость сопротивления ломке от относительной величины расстояния между опорами (а) и относительной глубины надреза прутков (б) из среднеуглеродистой стали

К расчету усилия ломки прутков

Параметр	Ломка круглых прутков	Ломка квадратных прутков	
		Упор в грань	Упор в ребро
Момент сопротивления изгибу $W_{изг}$, $м^3$	$0,1D_0^3$	$\frac{H_0^3}{6}$	$\frac{H_0^3 \sqrt{2}}{12}$
Расчетное усилие, МН	$\frac{0,4\beta D_0^3 \sigma_B}{l_0}$	$\frac{0,7\beta H_0^3 \sigma_B}{l_0}$	$\frac{0,5\beta H_0^3 \sigma_B}{l_0}$
Примечание. D_0 — диаметр прутка мм; H_0 — высота грани, мм; l_0 — расстояние между опорами, мм; σ_B — предел прочности МН/м ² .			

клоняемому рольгангу 1 к ломателю 2 до упора 3 во избежание горизонтального перемещения прутка в процессе ломки. Регулируемый упор 3 может опускаться в процессе ломки.

Производительность работы зависит от быстроходности машины, на которой производится ломка. Обычно ломку выполняют на быстроходных кривошипных или эксцентриковых прессах, имеющих небольшой ход. Иногда хладноломы устанавливают и на сравнительно тихоходных гидравлических вертикальных или горизонтальных прессах. Обычная производительность хладноломов составляет несколько тысяч мерных заготовок крупных профилей за смену. К преимуществам хладноломов помимо экономии энергии, горючего и большой производительности относится также возможность одновременного контроля качества металла по излому. Для исключения травматизма хладнолом должен иметь надежное ограждение.

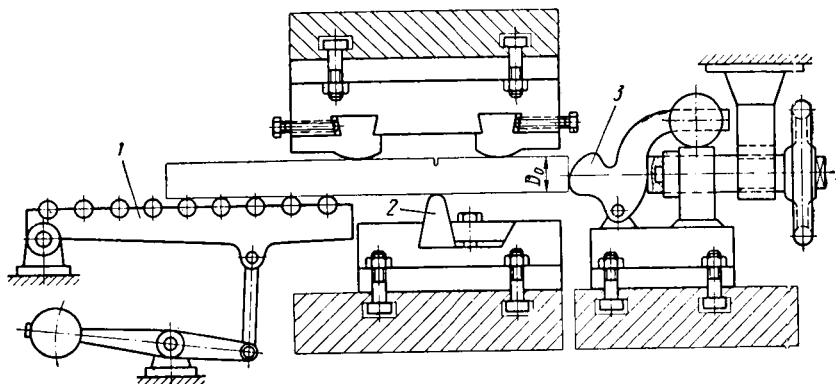


Рис. 36. Устройство для хладнолома с качающимся рольгангом

Газопламенная резка. В основу такого способа резки положено условие превышения температуры плавления металла над температурой его воспламенения, что характерно для большинства сталей. Сущность способа разделки заключается в местном нагреве металла в струе кислорода, при этом в зоне резки он частично сгорает. Указанным способом можно разрезать большинство сталей, труднее других поддаются резке высокохромистые стали (свыше 7% Cr). Сталь, содержащая более 0,7% C, одновременно горит и расплавляется, поэтому поверхность раздела получается неровной, а прорезь широкой.

При газовой резке необходим предварительный разогрев металла, с этой целью применяют горючее, дающее высокую температуру пламени: ацетилен 3100—3800° С, бензин 2500—2600° С, керосин 2000° С и др.

В качестве горючего при кислородной резке металлов могут быть использованы различные газы (природный, коксовый и др.) с теплотворной способностью не менее 10 048 Дж/м³ (~ 2400 кал/м³) и температурой пламени не ниже 1800° С.

Бензин и керосин используют в специальных горелках, в которых они превращаются в газ и в таком виде поступают в зону горения. Расход бензина составляет 1,2 кг/ч на один разак, керосина 1,3 кг/ч на один разак (в равных условиях), расход ацетилена 0,5—1,0 м³/ч. О производительности при ручной резке с использованием ацетилена можно судить по данным табл. 8.

Газовой резкой можно получить контуры реза сложной формы. В местах деления металла не образуются острых ребер, приводящих к заштамповке и зажимам. Недостатками этого способа разделки металла являются относительно большие потери металла по месту разрезки (слой толщиной 4—6 мм) и сравнительно невысокая производительность.

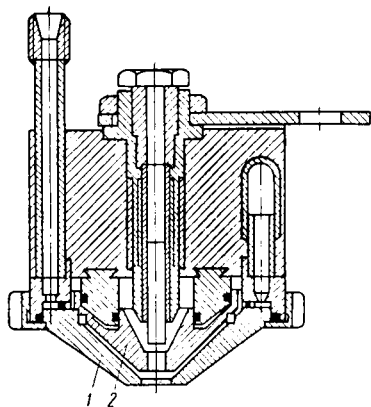
При газовой резке металла следует считаться с физико-химическим воздействием газовой среды на металл. Происходят и структурные изменения в металле. В низкоуглеродистых сталях наблюдается рост зерна, а вблизи надреза — нежелательная видман-

Таблица 8

Производительность резки с использованием ацетилена

Характеристика	Толщина стальной пластины, мм			
	5—15	15—50	50—100	100—200
Средняя скорость резки, мм/мин	320—430	190—340	125—205	90—140
Расход, м³/ч:				
ацетилена	0,5	0,65	0,75	0,9
кислорода	1,7—3,0	3—7	7—17	17—27

Рис. 37. Плазматрон ГПР-1000 для резки металла



Плазменная резка. Резка с использованием плазматронов получает все большее промышленное применение. Этот способ резки основан на использовании электрической дуги, но имеет существенные отличия от обычного дугового процесса. Конструктивно плазменные установки отличаются тем, что часть столба дуги функционирует не свободно, а внутри металлического цилиндра, внутренний диаметр которого соизмерим с диаметром столба дуги. Плазматрон, работающий на водородсодержащих смесях (рис. 37), имеет два сопла: 1 — наружное и 2 — внутреннее. Во внутреннее сопло подается рабочая смесь ($\text{Ar} + \text{H}_2$ или $\text{N}_2 + \text{H}_2$), а в наружное — воздух. Плазматрон ГПР-1000, по данным промышленных испытаний, может работать на токе силой до 1500 А. Резка при помощи плазматронов стала возможной в связи с их способностью локализовать область тепловыделения и повышать значение тепловых потоков до величины 10^2 — 10^3 кВт/см². В СССР разработкой этого способа резки занимается Институт электросварки им. Е. О. Патона и ряд других организаций. Резка сутунки, полосового, толстолистного металла, прутков и труб диаметром до 2500 мм, в том числе и из низкоуглеродистой стали при исключительно высокой производительности, выделяет плазменные установки в группу весьма перспективных в кузнечно-штамповочном производстве. Высокие точность и качество поверхности, скорости резки (в 2—3 раза больше, чем при кислородной резке) обеспечили плазменной резке экономическую эффективность. Особенно это обозначилось после использования для резки черных металлов (кроме аргоно-водородных смесей), воздуха в качестве плазмообразующей среды. Плазменную резку коррозионно-стойких (нержавеющих) сталей выполняют в аргоно-водородных и азотно-водородных смесях. Скорости этого процесса даны в табл. 9.

Резка пилами. Часто требуется получить заготовки с точной длиной и ровным перпендикулярным к оси прутка срезом. Таким требованиям отвечают заготовки, полученные резкой пилами.

В производстве используют два типа дисков для пил: зубчатые и гладкие (пилы трения и электромеханические). Для заготовок диаметром до 20 мм из жаропрочной стали применяют абразивные пилы.

Зубчатые пилы. Эти пилы подразделяют на проволочные, ленточные и дисковые. Ленточные и проволочные пилы могут иметь форму бесконечной (с соединенными концами) и конечной пилы (ножовочные пилы). В последнем случае пила совершает возвратно-поступательное движение.

Проволочные пилы еще не получили распространения, но успешно опробованы. Пила из нержавеющей стальной проволоки диаметром 0,2 мм, покрытая абразивом, обеспечивает высокую точность резания.

Пилами металл можно резать в горячем или в холодном состоянии. Горячая резка заготовок пилами в штамповочном производстве получила меньшее распространение, чем в прокатных цехах, где для резки металл специально не нагревают. Пилы имеют несколько форм зубьев (сменные в виде сегментов или цельные). Зубья восстанавливают заточкой или наплавкой. Диски пил могут быть различных диаметров (300—800 мм). Толщина дисков определяет минимальные потери на пропиловку и обычно составляет 2—8 мм. Разводка зубьев пил уменьшает потери энергии на трение боковой поверхности диска о металл, но приводит к увеличению ширины пропиловки, т. е. к увеличению отходов металла. Пилы с наибольшей производительностью имеют угол заострения зубьев, равный 50—60°.

Применение дисков со вставными зубьями приводит к большим потерям металла на пропиловку по сравнению с цельными дисками. Окружная скорость резания холодных пил составляет 0,5—1,0 м/с, что намного ниже скоростей, достигнутых при обработке резцами (более 15 м/с). Основным недостатком пил старых конструкций является их малая производительность. Пилы для горячей резки, применяемые в прокатном производстве, имеют окружную скорость 90—110 м/с, так что продолжительность резки даже крупных профилей не превышает 5—10 с. При тем-

Таблица 9

Скорость плазменной резки стали в аргоно-водородной смеси

Толщина материала, мм	Диаметр сопла, мм	Сила тока дуги, А	Напряжение дуги, В	Мощность дуги, кВт	Расход газа, м³/ч		Скорость резки, м/ч
					Аргон	Водород	
30	6	700	140	98	1,2	3,5	85
40	5	700	165	115	0,63	3,5	69
70	6	700	150	105	1,7	3,5	26
80	6	700	135	95	1,0	3,5	17
120	6	800	160	128	1,5	4,0	10,5

температуре 700° С за 1 с разрезается пруток площадью 2000 мм² (т. е. диаметром 45 мм).

В литературе описаны быстроходные производительные пилы, применяемые и в кузнечно-штамповочном производстве.

Например, пилы для групповой резки прутков диаметром 60 мм одновременно разрезают 30 шт. Такие пилы обеспечивают большую производительность и удобны в эксплуатации, но пока получили небольшое распространение.

Мощность, необходимая для вращения диска пилы (по А. И. Целикову), в Вт, и пропорциональная секундной разрезаемой площади f в м²/с

$$N = p s f, \quad (11)$$

где p — давление резания, Н, отнесенное к 1 м² сечения снимаемой стружки и составляющее $\sim 1,25\sigma_b$; s — ширина пропиловки, м.

Окружное усилие T , действующее на диск пилы во время резки металла, в Н

$$T = \frac{75N}{W} = \frac{p s f}{W}, \quad (12)$$

где W — окружная скорость диска, равная $\frac{\pi d n}{60}$ м/с; d — диаметр диска, м; n — частота вращения, об/мин.

Производительность резки пилами зависит от частоты вращения, диаметра диска и величины подачи. Минутная подача

$$S_{\text{мин}} = S_z z n, \quad (13)$$

где S_z — подача на один зуб (0,05 мм для твердой стали, 0,2 для мягкой стали); z — число зубьев диска.

П и л ы т р е н и я. Пилы трения получили небольшое распространение, так как их работа сопровождается большим шумом. Принцип их действия основан на выделении большого количества теплоты при трении о металл гладкого диска или диска с тупыми П-образными зубьями.

Частота вращения диска 2000—2500 об/мин, что обеспечивает его окружную скорость до 125 м/с. В месте контакта разрезаемый металл нагревается до температуры плавления. Элементы поверхности диска находятся в контакте с прутком металла очень непродолжительное время и поэтому не успевают нагреться до высокой температуры.

Э л е к т р о м е х а н и ч е с к и е п и л ы. Эти пилы сходны с пилами трения. Их принципиальное отличие состоит в том, что в месте контакта, кроме разогрева трением металла, создается электрическая дуга, которая способствует его расплавлению (рис. 38).

Рабочий ток от трансформатора T_r через скользящий контакт 7 подается на режущий стальной диск 8 толщиной 2,5—3 мм. Диск 8 приводится во вращение электродвигателем через

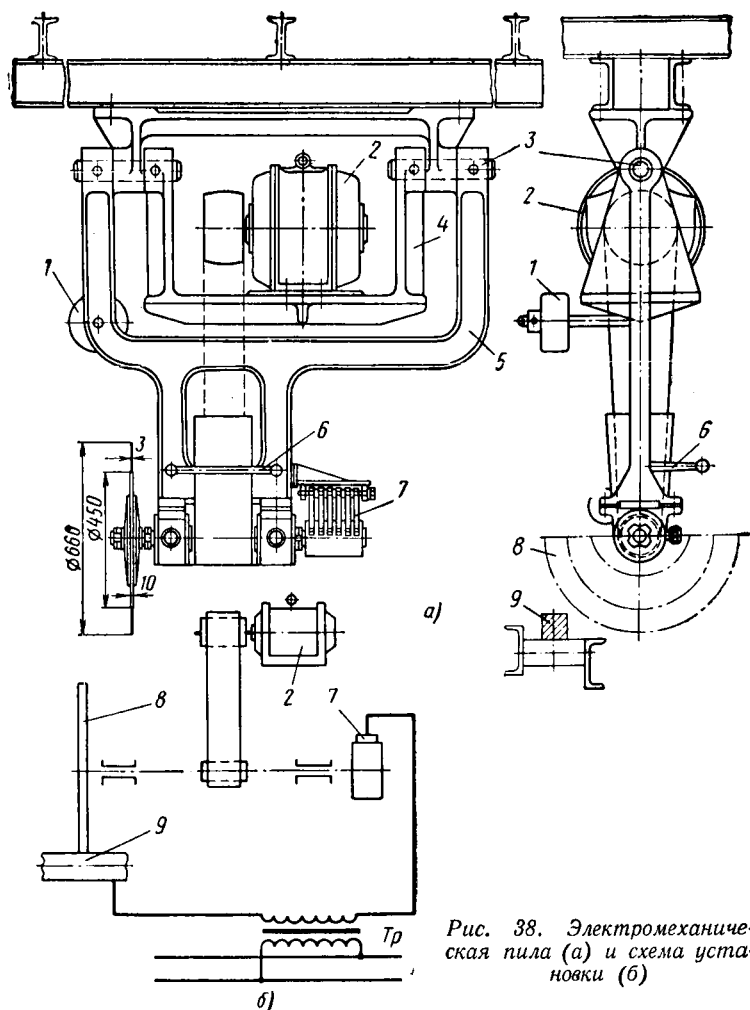


Рис. 38. Электромеханическая пила (а) и схема установки (б)

ускоряющую ременную передачу, частота его вращения 2200 об/мин. Разрезаемый пруток 9 соединен с обратным проводом трансформатора *Тр*. Между вращающимся диском и разрезаемым прутком металла возникает электрическая дуга, выделяемая теплота которой складывается с теплотой, выделяющейся при трении диска о металл, что обеспечивает легкое внедрение диска в него.

Вся конструкция смонтирована на литой раме 5, подвешиваемой шарнирно на балке, которая прикрепляется к колоннам здания или к фермам перекрытия, на оси 3 шарнира рамы 5 укреплен также кронштейн 4 электродвигателя 2 так, что мотор как бы

скреплен с рамой. Это позволяет осуществлять ременную передачу между шкивами мотора и диска. Рама 5 вместе с диском 8 движется с помощью ручки 6. Возвращение рамы в исходное положение облегчается грузом 1, установленным на выступающей консоли. Режущий диск изготовлен из стали Ст3 и имеет относительно высокую стойкость. Он может быть использован даже для резки высоколегированной стали. Благодаря скользящему контакту диска с металлом и охлаждению при вращении диска его температура повышается лишь незначительно. Время резки при работе на этой установке по сравнению с резкой на обычных пилах трения сокращается в 10 раз и более, расход энергии ниже, чем у пил трения. Чистота реза выше, чем при огневой резке, и почти не уступает качеству поверхности, полученной при резке на обычных пилах. Кроме отходов на пропилровку (до 3 мм), других отходов этот вид резки не имеет.

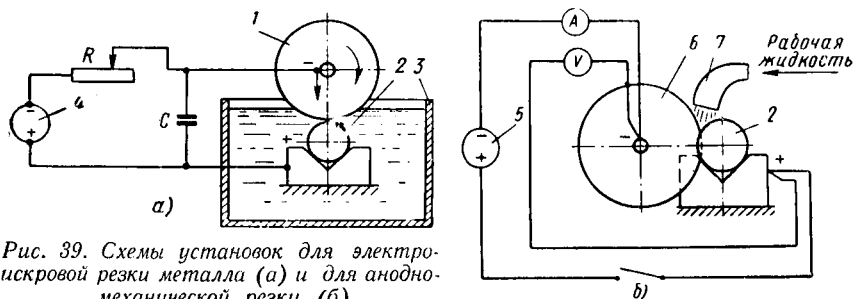
Производительность электромеханических пил выше, чем обычных пил трения, а шума при их работе значительно меньше.

Мощность электродвигателя, вращающего рабочий диск, составляет 2,2 кВт, максимальная сила тока, снимаемого с трансформатора, 1000 А. Напряжение регулируется в пределах 0—20 В. Для сравнения на данной установке разрезали прутки подобно тому, как это делается на обычной пиле трения усилием 98 Н с подачей тока через режущий диск. Было установлено, что разрезка образца, на которую затрачивалось 90 с, при подаче электроэнергии на диск значительно ускоряется. При силе тока 100—200 А разрезка происходит за 30—40 с, а при токе 300—400 А — за 7—8 с.

При повышении частоты вращения диска скорость резки может быть увеличена. Несмотря на возрастание установочной мощности за счет энергии, подводимой к диску от трансформатора, общий расход энергии на резку значительно уменьшается за счет сокращения продолжительности резки.

Электроискровая резка. Этот способ основан на коротком замыкании электрических проводников, при котором металл разрушается пульсирующим током.

Установка для электроискровой резки металла выполнена по следующей схеме (рис. 39, а). Разрезаемый прут 2 (анод) и ди-



сковый или ленточный инструмент 1 (катод) погружены в резервуар 3, заполненный жидким диэлектриком (например, керосином). Источник постоянного тока 4 заряжает через сопротивление R конденсатор C , который периодически (несколько сот раз в секунду) разряжается через искровой промежуток между прутком и инструментом. Электрические разряды следуют один за другим сплошным каскадом по всей поверхности сближения инструмента с обрабатываемым металлом. Сила тока в импульсе доходит до сотен и даже тысяч ампер, а мощность импульса достигает десятков киловатт. Так как действие разряда распространяется на малую площадь, то плотность тока достигает сотен тысяч ампер на 1 мм^2 . При этом разбивается температура порядка $10\,000^\circ \text{C}$, что вызывает взрывообразное плавление, сгорание и испарение металла.

При резке жаропрочной и высокомарганцовистой сталей в качестве диэлектрика может быть применена даже промышленная вода. Однако возможность взрыва в связи с частичным разложением воды ограничивает ее применение. Воспламеняющиеся жидкости (керосин, масла) также не являются лучшими рабочими жидкостями. При резке стали успешно применяют водную суспензию каолина с добавлением буры и борной кислоты. Существенными недостатками электроискровой резки являются малая стойкость латунных электродов (дисков), значительный расход электроэнергии и относительно небольшая скорость резки, которая не превышает, например, скорости фрезерования. Пруток из стали Х12М диаметром 70 мм разрезают в течение 2 мин. В настоящее время электроискровая резка металла совершенствуется за счет увеличения количества разрядов конденсатора, автоматизированного поддержания наименьшего расстояния между электродом и разрезаемым металлом, а также применения режущего инструмента с увеличенной поверхностью действия. Стойкость электродов повышается при применении для них меднографитовой массы, а также при введении в цепь дополнительного сопротивления. При резке этим способом получают ровную и чистую поверхность и незначительные отходы. Электроискровая резка является перспективным способом, особенно для сплавов, обладающих повышенной твердостью при резке по сложному контуру. Возможность получения заготовок точных размеров, имеющих малое отношение длины к диаметру при небольших отходах металла, также выгодно отличает электроискровую резку от других, хотя и более дешевых способов разделки металла на заготовки.

Анодно-механическая резка. При анодно-механической резке используют другую форму электрического разряда — электрическую дугу (как и в электромеханических пилах), в связи с чем эта схема установки отличается от электроискровой отсутствием конденсатора, добавочного сопротивления и диэлектрической среды, которая заменяется электролитной. Схема установки (рис. 39, б) очень проста. Генератор 5 постоянного тока низкого напряжения

включен в общую цепь с разрезаемой болванкой 2 (анод) и вращающимся дисковым инструментом 6 (катод). При наличии тока в цепи сближение электродов (металла и диска) вызывает электрическую дугу, которая проходит в среде рабочей жидкости, подаваемой через сопло 7. Воздействие на металл непрерывного разряда в виде электрической дуги существенно отличается от воздействия импульсных электрических разрядов. При непрерывном дуговом разряде происходит разогрев относительно больших масс металла.

Температура в зоне дугового разряда достигает 4000—5000° С. Эта температура ниже температуры, получаемой при электроискровом разряде, но вполне достаточна для расплавления любого металла. Благодаря световым потерям при прохождении в жидкости дуга не оказывает вредного слепящего воздействия и наблюдается в виде красноватой полосы.

При анодно-механической резке режущий диск совершает вращательное (окружная скорость 15—25 м/с) и поступательное движения со скоростью от 0,14 до 0,45 мм/с. Подача диска автоматизирована, при этом выдерживается оптимальная величина межэлектродного зазора. Кроме дискового применяют и ленточный инструмент. Толщина стальных дисков и лент равна 0,5—2,5 мм. Износ инструмента при анодно-механической резке составляет 1,5—2,5% от объема прорезанного слоя металла.

В качестве рабочей жидкости при резке металла применяют водный раствор жидкого стекла плотностью $\sim 1,3$ кг/дм³. Расход этого раствора составляет 5—25 л/мин при резке прутков диаметром 25—300 мм.

Производительность работы при резке стали анодно-механическим способом (примерно такая же, как и при электроискровой резке) приведена в табл. 10.

Этот способ применяют для резки весьма прочных и труднообрабатываемых сплавов, в частности для жаропрочных сплавов, которые не поддаются резке обычными способами.

Резка на установках взрывного действия. На некоторых металлургических и машиностроительных заводах успешно применяют импульсную резку крупногабаритных прутков и рубку

Таблица 10

Производительность работы при анодно-механической резке стали

Параметры	Диаметр прутка, мм								
	40	60	80	100	125	150	200	250	300
Машинно- время резки, мин	1,5	2,5	4,0	5,5	10,0	13,0	19,0	26,0	35,0
Удельная производительность, мм/с	2,2	2,5	3,0	3,3	4,7	5,2	5,6	6,2	7,0

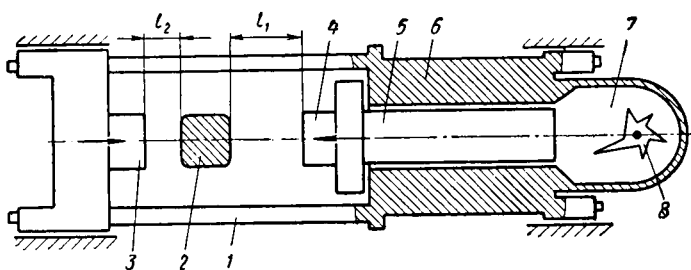


Рис. 40. Схема установки для импульсной рубки (по В. Г. Каноненко)

слитков в холодном и горячем состояниях. Этот метод резки основан на использовании энергии взрыва пороховых зарядов или газовых сред, в том числе природных газов. В качестве машины-орудия для импульсной резки применяют копры. Наиболее эффективен бесфундаментный горизонтальный копер (рис. 40).

Жесткая прессовая рама 1 имеет рабочее пространство, в которое помещают разделяемый на части пруток до упора, отмеривающего нужную длину мерной заготовки (на рис. 40 упор не показан). Нож 4 закреплен на бабе со штоком 5, движущимся внутри цилиндра 6 рамы 1. Взрывной заряд 8, установленный во взрывную камеру 6, в момент взрыва толкает шток 5 с ножом 4 влево по направлению к заготовке 2. Одновременно рама 1 с закрепленным на ней вторым ножом 3 движется вправо. Ножи 3 и 4 находятся на различном расстоянии от заготовки (l_1 и l_2), что обеспечивает одновременное их действие при различных скоростях движения ножей или рамы (вправо) и штока (влево). Неодинаковая скорость ножей обусловлена различной массой движущихся рамы и штока (расстояние l_1 и l_2 обратно пропорционально массам штока 5 и рамы 1). На таком копре можно выполнять рубку и одним ножом 4, устанавливая заготовку как на опору в то место, где расположен нож 3.

Начальная скорость внедрения ножей при импульсной резке составляет до 30 м/с для ножа 4 и более 4 м/с для ножа 3; время резки $\leq 0,01$ с; энергия, развиваемая копром, до 441 000 Дж. Масса заряда 250 г, зажигание электрическое искровое, масса копра 5000 кг, габаритные размеры его $550 \times 800 \times 1000$ мм. При импульсной резке отходы ничтожно малы. Работа копра может быть автоматизирована, его установка может быть стационарной и передвижной.

Описанные копры предназначены для резки болванок сечением до 200×200 мм, нагретых до 750°C . Имеются конструкции копров для резки прутков сечением до 130×130 мм. Этим способом возможна резка прутков и больших сечений, чем указано выше.

Лазерная резка. Этот способ резки появился совсем недавно, но его перспективность для разделки заготовок сверхпрочных и

хрупких материалов не вызывает сомнений. По сравнению с обычными способами резки лазеры большой мощности обладают тем преимуществом, что могут обеспечить высокую точность резки по любому контуру материала любой твердости, причем не возникает проблемы износа оборудования. Применение в новой технике группы материалов, не поддающихся обычным способам обработки, приводит к применению новых методов, к одному из которых можно причислить лазерную обработку, резку.

3. Точность разделки и отходы металла

Точность заготовок по длине зависит от их размеров и способа разделки прутков.

Например, при резке на ножницах неустранимые скосы приводят к увеличению допусков на 1,5—2,0 мм, смещению упоров от ударов прутка на 0,5—1,0 мм, отклонению прутка от горизонтали на 0,5—0,8 мм, отскок от упора приводит к уменьшению длины заготовки. Суммарный допуск для заготовок диаметром 100 мм и длиной 500 мм составляет 3—3,5 мм.

Отклонения по длине мерных заготовок, разделанных различными способами, примерно следующие (в мм):

Горячая резка на пи-		Холодная резка на	
лах	$\pm 0,5—\pm 1,5$	пилах	$\pm 0,25—\pm 0,75$
Резка в штампах . .	$\pm 0,3—\pm 0,75$	Электроискровая	
Резка на ножницах .	$\pm 1,0—\pm 5,0$	резка	$\pm 0,1—\pm 0,25$
Ломка хладноломом .	$\pm 1,0—\pm 3,0$	Анодно-механическая	
Газопламенная резка	$\pm 1,0—\pm 3,0$	резка	$\pm 0,1—\pm 0,5$

Во многих случаях промышленность не удовлетворяет низкая точность прутков после разделки. Подсчитано, что из-за малой точности заготовок по объему теряется больше металла, чем при его угаре в печах. Низкая точность заготовок препятствует более широкому внедрению прогрессивного метода изготовления поковок в закрытых штампах.

Допуски на разделку не стандартизованы. Ниже приведена нормаль автомобильного завода (табл. 11).

Отходы при резке. Потери металла при производстве деталей машин складываются из отходов, утилизируемых и теряемых безвозвратно, и брака — исправимого и неисправимого. По признаку стадийности производства деталей отходы подразделяют на первичные и вторичные.

К первичным относятся отходы, предопределяемые и удаляемые на каждой стадии производства: вследствие несовершенства данного процесса (например, отходы на заусенцы, пленки при штамповке и т. п.) и вследствие несовершенства осуществления или организации процесса (например, отходы по некратности размеров прутков размерам мерных заготовок, отходы металла на угар при нагреве и т. п.).

Допуски при резке на ножницах

Диаметр или сторона квадрата, мм	Длина мерных заготовок, мм			
	До 300	300—600	600—1000	Свыше 1000
	Поле отклонений по длине, мм			
До 25	До 0,8	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0
25—40	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5
40—70	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0
70—100	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5
100—150	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0
150—200	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0	4,0—5,0

К вторичным относятся отходы, которые предопределены предыдущей стадией производства, но удаляемые на последующей его стадии. К ним относятся отходы при выплавке стали в виде удаляемых впоследствии в кузнечном цехе донной и головной частей слитка, отходы в виде припусков и напусков при изготовлении поковок, удаляемых в механическом цехе в стружку, и т. п. Борьба за экономию металла состоит в уменьшении суммы первичных и вторичных отходов, однако уменьшение вторичных отходов более эффективно, чем первичных. Чем меньше отходы и доля вторичных отходов, тем рациональнее процесс. Недопустимо уменьшение доли первичных отходов за счет увеличения доли вторичных отходов. Например, устранение отхода по некратности за счет утяжеления мерных заготовок или уменьшение объема заусенца за счет утяжеления поковок не приводит к экономии металла, значительно усложняет технологию и удорожает производство.

О вторичных отходах, связанных с потерей металла из-за неточностей размеров отрезаемых заготовок, можно судить по данным табл. 6.

Первичные отходы при резке складываются из отходов вследствие допусков на длину заготовки и непосредственно связанных с резкой (на пропиловку при резке пилами, а также на сгорание и расплавление металла при газовой резке); отходов по некратности (при разделке прутков торговой длины); отходов по устранению неровностей и заусенцев на концах прутков. В среднем отходы по некратности при разрезке одного прутка составляют 50% от массы заготовки.

Отходы по обрезке или зачистке концов прутков могут быть учтены в концевом отходе по некратности. Тогда расход металла на одну заготовку (в кг) с учетом отходов, но без учета потерь на допуски определяется следующим образом:

$$G = \frac{q}{1000} \left(L_0 + l_{\text{пр}} + \frac{l_n}{n} \right) \quad (14)$$

или

$$G = g + \frac{q}{1000} \left(\frac{l_n}{n} + l_{\text{пр}} \right), \quad (14')$$

где g — масса заготовки, кг; L_0 — номинальная длина мерной заготовки, мм; $l_{\text{пр}}$ — длина участка прутка, равная ширине пропилки или просвету при газовой резке, мм; при наличии отхода по некратности число таких участков равно числу заготовок, получаемых из прутка; l_n — длина отхода от прутка вследствие его некратности и на обрезку концов, мм; q — масса 1 м прутка данного размера, кг/м; n — число заготовок, получающихся из прутка торговой длины,

$$n = \frac{L_{\text{пр}} - l_n}{L_0 + l_{\text{пр}}};$$

$L_{\text{пр}}$ — длина прутка, мм.

Наиболее просто определить расход металла при резке на ножницах при $l_{\text{пр}} = 0$. Полагая средний расход металла в отход по некратности от каждого прутка равным $0,5L_0$, находим

$$G = g \frac{L_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}} - 0,5L_0}. \quad (14'')$$

Из этого выражения следует, что с увеличением длины прутков $L_{\text{пр}}$ относительный расход металла на заготовки уменьшается. Отходы на одну заготовку как разность $G - g$ составят

$$\Delta G = G - g = 0,5 \frac{gL_0}{L_{\text{пр}} - 0,5L_0}. \quad (15)$$

При наличии отходов на пропиловку с уменьшением длины мерных заготовок расход металла на заготовки увеличивается. В этом случае отходы на каждую заготовку

$$\Delta G = \frac{0,5gL_0}{L_{\text{пр}} - 0,5L_0} + \frac{l_{\text{пр}}q}{1000}. \quad (15')$$

Отходы при резке могут быть уменьшены за счет рационального раскроя и раскроя с оптимизацией, основанного на учете соотношения длин прутка и заготовок для различных поковок, изготавливаемых из прутков данного сечения. Наиболее современные в этом отношении дозирующие установки, снабженные ЭВМ.

Трудоемкость (в ч) при разделке 1 т прутков на мерные заготовки в зависимости от их массы (2,5—25 кг) следующая: 0,37—0,14 для кривошипных ножниц; 2,0—0,64 для хладнолома и 8—1,9 для дисковой пилы.

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Процессы ковки и штамповки, осуществляемые при высоких температурах (для разных сталей в пределах 1300—750° С), можно рассматривать как совместные процессы обработки металлов давлением и термического воздействия на них. При ковке литого металла (слитков) возможно решить следующие четыре задачи:

- придание заготовке заданной формы и размеров поковки;
- полное или частичное устранение дефектов литой структуры (заварка пустот, рассредоточение ликваций, сегрегаций, вырубка поверхностных трещин и т. п.);

- преобразование литой (дендритной) макроструктуры металла для улучшения механических свойств;

- получение оптимальной микроструктуры металла при минимальных остаточных напряжениях.

При ковке и штамповке прутковых заготовок и болванок (блужков) решаются первая и последняя задачи.

Тепловое воздействие на металл приводит к почти полной потере им упругих свойств, к уменьшению (в десятки раз) его сопротивления деформации и к повышению (на десятки процентов) пластичности. В процессе горячей обработки металла давлением происходит появление и снятие напряжений, в частности при возврате и рекристаллизации металла (непосредственно в процессе деформации и по ее окончании). Кроме того, тепловое воздействие приводит к перекристаллизации металла, растворению карбидов, способствует и ускоряет диффузионные и релаксационные процессы.

К числу наиболее вредных явлений, вызываемых нагревом, относятся окалинообразование, порча поверхности металла, обезуглероживание и некоторые виды его перегрева, приводящие к неисправимым дефектам. При неправильном ведении процесса происходит пережог стали и образование трещин вследствие растягивающих тепловых напряжений. Особенно опасен в этом отношении процесс охлаждения металла, при котором возможны и другие отрицательные явления, например флокенообразование (в результате повышенного содержания водорода в стали).

Оптимальный термический режим ковки, штамповки должен способствовать успешному проведению процесса, при котором вредное влияние теплоты по возможности ограничивается и обеспечивается высокое качество поковок. Поэтому термический режим разрабатывается для каждой стали с учетом исходной структуры металла, объема и соотношения размеров заготовки (слитка) и назначения поковки.

Термический цикл ковки, штамповки состоит из трех этапов: нагрева металла перед ковкой, штамповкой; остывания металла в процессе ковки, штамповки (при одновременном переходе энергии деформации в тепловую); остывания металла по окончании ковки, штамповки.

В общих чертах термические режимы процессов ковки и штамповки аналогичны. Если имеется в виду ковка и штамповка одинаковых заготовок, то первый и третий этапы термического режима могут даже совпасть. Второй этап режима имеет некоторое отличие. Более быстрый темп штамповки позволяет обычно уложиться в отрезок времени, определяемый остыванием металла. При ковке часто оказывается этого времени недостаточно и тогда приходится подогревать полуфабрикат поковки иногда 5—10 раз и более. Особенно существенно отличаются термические режимы катаных заготовок и слитков, в связи с чем эти режимы будут рассмотрены отдельно.

Поскольку масса слитков, подвергающихся ковке, превышает в десятки и сотни раз массу штампованных заготовок, то все этапы термического режима ковки слитков получаются относительно продолжительными. Это приводит к повышенному окалинообразованию, значительному росту зерна и развитию других процессов, зависящих от продолжительности обработки.

1. Интервал ковочных температур

Одна из главных задач при разработке термического режима ковки, штамповки состоит в определении соответствующего температурного интервала, т. е. температуры начала и конца обработки металла.

Различают допустимый и технологически необходимый, оптимальный интервалы температур ковки, штамповки. Допустимый интервал температур зависит от состава и структуры обрабатываемой стали, необходимый интервал температур — от условий технологического процесса обработки стали.

Допустимый интервал ковочных температур определяют в результате отдельного установления температур начала и конца ковки, штамповки. Эти температуры устанавливают на основании металлургических и металловедческих данных о металле. Затем эти данные уточняют исходя из конкретных обстоятельств ковки и штамповки и устанавливают оптимальный интервал температур.

Главным фактором, определяющим температуры начала и конца горячей деформации, является химический состав сплава и его физические свойства. Ковочные температуры находятся между температурами плавления и интенсивной рекристаллизации сплава. Более низкие температуры относятся к полугорячему, полухолодному и, наконец, холодному деформированию. Обработка давлением при температурах, отвечающих промежутку между линиями солидуса и ликвидуса на диаграммах состояния, носит название штамповки или прокатки металла в период кристаллизации.

Для уточнения интервала ковочных температур используют дополнительные сведения о сплаве в условияхковки. Вблизи температуры плавления сплава находится температура потери его пластичности; несколько ниже этой температуры происходит перегрев стали, связанный с оплавлением и окислением границ зерен, поэтому ковать или штамповать металл при указанных температурах нельзя. Еще ниже находятся температуры перегрева сплава, который характеризуется значительным ростом зерен. Однако большинство сталей с крупнозернистой структурой поддается ковке (при этом зерна измельчаются), так что максимальная температураковки или штамповки может находиться и в области температур перегрева, который начинается при температуре критического роста зерна. Например, сталь, содержащая 0,4—0,45% С, имеет критическую температуру роста зерна 1150°С, однако успешно куют эту сталь при 1200—800°С. Для стали 38ХМЮА и 18ХВА критические температуры составляют 1100 и 1200°С, а ковочные температуры — соответственно 1160—880 и 1200—850°С. Иногда технологи снижают верхнюю границу температурного интервалаковки из-за необходимости уменьшить чрезмерное окалинообразование или обезуглероживание металла. Это снижение более значительно для крупных заготовок, поскольку при их нагреве требуется большое время выдержки в печи. При ковке литого металла (слитков) температура началаковки может быть немного повышена. Применение ускоренного режима нагрева также позволяет повысить верхний предел температурного интервала, но во всех случаях металл должен выдерживать обжатия, предусмотренные технологическим процессом, без трещинообразования. В началековки допускаются небольшие обжатия, поэтому их можно осуществить при температурах, более высоких, чем при последующей ковке с большими обжатиями.

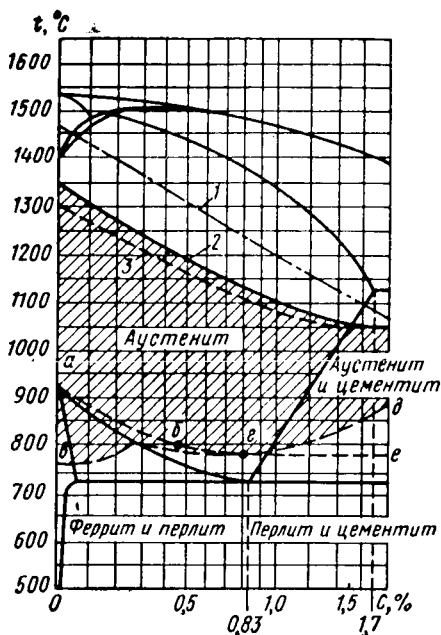
Нижнюю границу температурковки, штамповки уточнить более сложно. Здесь приходится считаться не только с типом стали (заэвтектоидная или доэвтектоидная), но и с объемом поковок, качеством требуемого металла, наличием или отсутствием термической обработки поковок, способом их охлаждения (в том числе и с использованием ковочной теплоты для термической обработки и т. п.). Важным фактором при установлении ковочных температур являются требования, предъявляемые к механическим свой-

ствам металла с учетом характера эксплуатации детали. Если для данной детали предусмотрена термическая обработка, например закалка с отпуском, то правильно выбранная температура концаковки, штамповки (выше точки A_{r3} для среднеуглеродистой доэвтектоидной стали) позволяет использовать ковочную теплоту для последующей термической обработки, это так называемая термомеханическая обработка. Если термическая обработка в виде отжига или нормализации не предусмотрена, то нижний предел интервала ковочных температур ограничивается условиями получения мелкого зерна. Для небольших поковок (массой до 1000 кг) температура концаковки, штамповки может быть высокой (на 200—300° С выше точки A_{r3}) или низкой (вблизи этой точки) в зависимости от режима охлаждения. При высокой температуре концаковки или штамповки есть опасность получения крупного зерна. Однако в результате ускоренного охлаждения можно получить тонкое строение структуры сплава и соответствующие этому высокие механические свойства. Высокая температура конца обработки способствует повышению некоторых технико-экономических показателей (повышению производительности, уменьшению расхода энергии на ковку, штамповку). Для поковок с большой массой и не подлежащих термической обработке получение высоких механических свойств за счет увеличения скорости их охлаждения маловероятно из-за трудности в этих условиях ускорить остывание поковок. Определенная комбинация температуры и величины последних обжатов обеспечивает оптимальную структуру. Однако сталь, подвергнутая деформации в интервале критических обжатов (4—12%), после рекристаллизации имеет нежелательную крупнозернистую структуру.

Для углеродистых сталей интервалы ковочных температур даны на диаграмме состояния «железо—углерод» (рис. 41). Для низкоуглеродистой стали область ковочных температур совпадает с однофазной аустенитной областью и частично распространяется на двухфазную область межкритических температур, где свободной структурной фазой является феррит. Заэвтектоидные стали кулят в аустенитной и в двухфазной областях со структурно свободным цементитом. Ковка, штамповка среднеуглеродистой стали оканчивается выше точки A_{r3} , что обеспечивает устойчивую мелкозернистую структуру стали. Для низкоуглеродистой стали (до 0,3% С) допустима более низкая температурная область концаковки, штамповки (в промежутке между точками A_{r3} и A_{r1}), особенно для крупных поковок. При этом окончательный размер зерен меньше, чем при завершенииковки при температуре выше точки A_{r3} . Для заэвтектоидной стали, у которой структурно-свободной фазой является хрупкий цементит, температура концаковки, штамповки должна быть по возможности более низкой, а охлаждение поковок быстрым во избежание образования цементитной сетки при высокой температуре и в конце обработки. Для разрушения цементитной сетки следует оканчивать ковку,

Рис. 41. Температурные интервалыковки и штамповки поковок сечением свыше 70 мм из углеродистой стали:

1 — верхний предел при форсированном нагреве; 2 — то же при обычном нагреве для слитков; 3 — то же для прутков и болванок; а, б, в — нижний предел дляковки доэвтектоидной стали; а, б, в — область концаковки низкоуглеродистой стали; г, д, е — то же для заэвтектоидной стали (масштаб по оси абсцисс — условный)



штамповку в интервале температур критических точек $Ar_m - Ar_1$. В этом случае перед отжигом стали на зернистый перлит нет необходимости проводить нормализацию, отжиг же можно осуществить, используя ковочную теплоту. Рекомендации, связанные с окончаниемковки и штамповки заэвтектоидной стали как можно ближе к точке Ar_1 , неприемлемы

для стали с большим содержанием углерода, у которой вследствие графитизации может появиться такой вид брака, как «черный излом». При построении графика на рис. 41 это обстоятельство учтено.

В цеховых условиях интервал ковочных температур иногда уточняют субъективно. Конец штамповки корректируют исходя из стойкости инструмента. Разогретые штампы быстро «салятся» при штамповке остывающей заготовки вследствие значительного увеличения сопротивления деформации. Иногда повышение температуры штамповки вызывается недостаточной мощностью используемого оборудования. Руководствоваться подобными соображениями допустимо лишь в тех случаях, когда отклонения от оптимального режима не снижают качества поковок.

Как видно из графика на рис. 41, максимальный интервал ковочных температур для низкоуглеродистой стали достигает 600°C , для эвтектоидной — $400-450^\circ\text{C}$, а для заэвтектоидных сталей — $200-300^\circ\text{C}$. Для высоколегированной стали этот интервал температур еще меньше, и, например, для жаропрочной он составляет $50-100^\circ\text{C}$, что приближает режим обработки давлением к изотермическому режиму.

Для уточнения интервала ковочных температур обычно проводят следующие лабораторные исследования: выявление пластичности стали при осадке до появления первой трещины в пределах ориентировочного интервала ковочных температур; построение

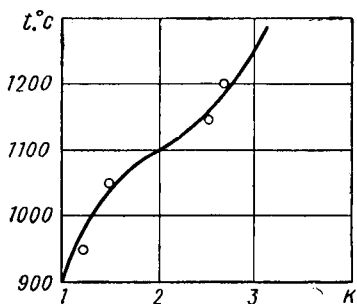


Рис. 42. Ориентировочные данные для снижения верхнего предела температурковки в зависимости от коэффициента уковки

кривой изменения ударной вязкости в той же температурной области, с тем чтобы избежать при ковке, штамповке температур, при которых резко падает ударная вязкость; определение сопротивления деформации при температурах ориентировочного концаковки, штамповки с тем, чтобы не подвергать рабочий инструмент перенапряжению; построение графика рекристаллизации металла после обработки металла с различной степенью деформации, для того, чтобы не применять в установленном интервале температур деформаций такой величины, которая вызывает чрезмерный рост зерна.

Используемый интервал ковочных температур может совпасть с оптимальным интервалом, например, в случае равенства времени t_k , затрачиваемого на ковку, штамповку, и времени t_o остывания стали в интервале ковочных температур при данных условиях обработки. Обе эти величины могут значительно изменяться в зависимости от сложности поковки и темпа работы, зависящего от степени механизации процесса и быстроходности оборудования. Если $t_k < t_o$, что чаще бывает при штамповке, то допустимый интервал температур не используется, и технолог решает, за счет какой из температур сократить этот интервал. Нагрев до высоких температур без достаточной проковки металла не обеспечивает необходимого его качества даже за счет регулирования скорости охлаждения, поэтому в подобных случаях, чтобы избежать дополнительной термической обработки, сокращают интервал температур обработки за счет снижения температуры начала процесса (рис. 42). Если $t_k > t_o$, что чаще бывает при ковке, то куют за два или большее число выносов. При этом уточняют ковочные температуры, с тем чтобы на последнем выносе соблюсти рациональный интервал ковочных температур, обеспечивающий наилучшее качество поковки.

2. Типы нагревательных устройств и способы нагрева металла

В связи с различной массой слитков и заготовок, а также темпом и серийностью производства поволоков в кузнечных цехах применяют различные типы нагревательных устройств и способы нагрева металла.

Для нагрева перед ковкой применяют преимущественно печи (табл. 12). Для мелких и средних заготовок из углеродистой стали

Таблица 12

Типы нагревательных печей, применяемых в кузнечных цехах

Печи	Назначение	Загрузка металла	Использование теплоты отходящих газов
Камерные: однокамерные щелевые	Нагрев мелких и средних заготовок из углеродистой стали	Партиями или по одной заготовке	Без использования или с рекуператором
однокамерные с закрывающимся окном	То же	То же	То же
двухкамерные с закрывающимся окном	Нагрев и подогрев холодных заготовок из легированной стали, повторный нагрев остывающих заготовок	Периодическая — попеременная или последовательная	В рекуператоре или для подогрева металла
Крупнокамерные с двумя и более закрывающимися окнами	Нагрев холодных слитков, подогрев холодных слитков, повторный нагрев остывающих слитков в процессековки	Периодическая одиночная	В регенераторе
С выдвижным подом:			
с одной подовой тележкой и выдвижением ее в одну сторону		Периодической садкой или одиночная	То же
с двумя подовыми тележками и выдвижением их в обе стороны	То же	То же	»
Методические: перекатные с наклонным подом	Нагрев слитков легированной стали	Непрерывная	В рекуператоре или без использования теплоты
с голкателем	То же	То же	То же
Шахтные кольцевые: отапливаемые	Подогрев и нагрев слитков	Одиночная	В регенераторе или рекуператоре
неотапливаемые	Охлаждение крупных поковок по заданному режиму		

применяют немеханизированные камерные щелевые печи с рекуперативным использованием теплоты отходящих газов и без использования этой теплоты. Для нагрева легированной стали применяют также двухкамерные печи с периодической попеременной загрузкой каждой камеры или с последовательной их загрузкой.

Нагрев слитков осуществляют также в камерных печах с одним, двумя и несколькими закрывающимися окнами и регенеративным использованием теплоты. Отходящие газы удаляются через борова и вытяжную трубу. Большое распространение получили нагревательные печи с выдвижной подиной. Печи с двумя подовыми тележками, выдвигаемыми в обе стороны печи, позволяют использовать их без значительных потерь времени. Методические печи для нагрева небольших слитков из легированной стали используют при применении наклонного пода (для облегчения переката слитков) и толкателя для перемещения слитков внутри печи.

В производстве крупных поковок применяют тоннельные печи с расположением слитков на отдельных тележках. Крупные болванки подогревают преимущественно в шахтных печах, а охлаждают в различных колодцевых устройствах, в том числе и неотапливаемых. В качестве топлива в указанных печах используют обычно газ. Напряженность пода этих печей при работе на газовом топливе составляет для камерных печей $350\text{--}550 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, для печей с выдвижным подом при холодном посаде слитков до $950 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, для методических печей — $300\text{--}400 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Для нагрева металла перед штамповкой поковок применяют более разнообразные нагревательные средства. Быстрый нагрев металла обеспечивают пламенные печи и электрические нагреватели.

При нагревании металла в печах теплота передается лучеиспусканием, конвекцией и теплопроводностью. Лучеиспускание является основным источником передачи теплоты от нагревающей среды и стенок печи. Конвекцией передается только 3—8% теплоты. Теплопроводность обеспечивает распространение и выравнивание температуры по сечению заготовок. В кузнечно-штамповочных цехах довоенной постройки печи имеют большее распространение, чем электронагревательные установки. Различают два типа печей: полуметодические и камерные (садочные и щелевые). В современных печах применяют печи с отводом продуктов горения в боровы или с вытяжкой эксгаустером и с рекуперативным использованием теплоты. Большое распространение получили печи механизированные (конвейерные и с толкателями), а также полуметодические (с укороченной камерой подогрева металла). Некоторое применение получил нагрев металла в солевых ваннах.

Электрические нагревательные устройства — более совершенный тип установок для нагрева металла перед штамповкой. Нагрев

стали электроконтактным способом происходит вследствие прохождения электрического тока через нагреваемый металл. Тепловая энергия, выделяемая в заготовке, пропорциональна квадрату силы электрического тока I , сопротивлению R и времени t прохождения тока:

$$Q = 0,24I^2Rt.$$

При нагреве электроиндукционным способом температура металла повышается под влиянием вихревых токов и выделения теплоты от гистерезиса перемагничивания. В обоих случаях теплота возникает в самом металле, но все же неравномерно по сечению. Распространение теплоты и частичное или полное выравнивание температур в металле, нагреваемом индукционным током, происходит благодаря теплопроводности.

Электролитный нагрев металла основан на эффекте интенсивного нагревания катода при прохождении электрического тока через водные растворы солей. За короткий промежуток времени (0,012—0,001 с) около катода возникает газовая рубашка (водородная), через которую ток проходит в виде микроразрядов (8000—10 000 с/см). Источниками, нагревающими металл, служат разряды и теплота газового слоя.

К преимуществам электронагрева перед нагревом заготовок в кузнечных печах относятся следующие.

1. Экономия и большая скорость нагрева металла, отсутствие необходимости подачи воздуха в камеру нагрева (как в случае применения печей для поддержания горения топлива), что значительно уменьшает окалину. При контактном электронагреве в 2 раза уменьшается угар металла. Индукционный способ нагрева дает еще больший эффект в отношении уменьшения окалины, однако без применения защитной атмосферы устранить полностью окалину в процессе нагрева не удастся.

2. Повышение стойкости штампов. При уменьшении окалины на металле стойкость штампов повышается, так как окалина оказывает абразивное воздействие.

3. Повышение производительности труда. Большая скорость нагрева позволят увеличить температуру начала штамповки, так как перегрев штампуемого металла при малых выдержках в нагретом состоянии происходит при более высоких температурах. Штамповка при более высоких температурах целесообразна из-за меньших затрат работы на деформацию, что приводит к сокращению числа ударов и повышению производительности при штамповке на молотах. При электронагреве легко достигается согласованность работы нагревательных устройств и штамповочных машин и упрощается автоматизация производственного процесса. Небольшие габаритные размеры электроустановок также способствуют этому.

4. Улучшение условий труда. Отсутствие грязи и копоти на рабочем месте улучшает условия труда в горячих цехах, что

приближает условия работы в них к условиям работы в холодно-прессовых цехах.

5. Повышение качества продукции. Равномерность нагрева и точный контроль температурного режима при электронагреве позволяют обеспечить однородные структуру и свойства металла, сократить тепловые виды брака и увеличить точность размеров поковок за счет уменьшения колебания величины усадки при их остывании.

6. Отсутствие необходимости в тщательной очистке поковок; экономия времени на очистку заготовок от окалины перед штамповкой; простота обслуживания нагревателей; удобство применения защитных атмосфер в нагревательных индукторах и т. п.

Недостатки электронагрева металла связаны с относительно высокой ценой установок и электроэнергии, трудностями подогрева (вторичного нагрева) еще не остывших заготовок и сложностью нагрева фасонных заготовок. Для удешевления электронагрева применяют двухступенчатый индукционный электронагрев металла: до температуры 800—850° С током промышленной частоты (без генератора) и затем током средней частоты, а в отдельных случаях применяют даже трехступенчатый нагрев.

Типы кузнечных нагревательных устройств, применяемых при штамповке, с указанием их конкретного назначения приведены в табл. 13. Их подразделяют на пламенные печи и нагревательные установки электрического действия. Среди последних наиболее распространены различные индукционные установки с толкателями, конвейерами, вращающимися барабанами при одновременном вращении заготовок вокруг своей оси и т. п. Различные нагревательные устройства используют для нагрева мерных заготовок (штучных, спаренных и многоштучных), чаще целиком, и прутковых заготовок (обычно нагревают только с одного конца).

Получают распространение печи и установки с защитной атмосферой и для безокислительного нагрева заготовок. Экономические расчеты показывают, что в районах с повышенной стоимостью электроэнергии эти печи наиболее эффективны. Методический и полуметодический нагрев используют для легированной стали. Механизированные конвейерные и карусельные печи обеспечивают ритмичную подачу нагретых заготовок, что особенно важно в автоматизированном производстве поковок. Нагрев в электролите и в солевых ваннах применим для заготовок небольшого размера. Нагрев в стеклянных ваннах применяют в нескольких вариантах. Пламенный нагрев в стеклянной ванне используют для заготовок небольших и средних размеров, остающееся на поверхности металла стекло является смазкой при последующей штамповке. Вариант электронагревательного устройства, в котором применяют в качестве сопротивления расплавленное стекло, позволяет осуществлять нагрев даже слитков.

В расплавленном стекле можно нагревать не только в стационарных ваннах, но и во вращающихся барабанных печах, в печах

Типы нагревательных устройств, применяемых при штамповке стали

Нагревательные устройства	Назначение	Условия нагрева
Печи камерные: с закрывающимися окнами шелевые очковые	Для нагрева мерных заготовок из углеродистой стали То же мерных и прутковых То же	Без предварительного нагрева печи могут быть с восстановительной атмосферой
Печи полуметодические и методические с голкателями	Для нагрева мерных заготовок из легированной стали	Методический нагрев, печи могут быть с восстановительной или защитной атмосферой
Печи карусельные: с вращающимся подом (тарельчатые) с вращающимся корпусом (очковые)	Для нагрева мерных заготовок из любой стали То же мерных и прутковых	То же »
Конвейерные печи: с внутренним расположением конвейера с наружным расположением конвейера	Для нагрева мерных заготовок из любой стали То же прутковых	Методический нагрев, печи могут быть с защитной атмосферой То же
Специализированные печи	Нагрев фасонных заготовок из любой стали	Нагрев по заданному режиму
Солевые ванны	Нагрев мелких заготовок из любой стали	Быстрый безокислительный нагрев
Печи для скоростного нагрева с керамическими горелками — камерные и проходные	Нагрев заготовок всех типов	Быстрый малоокислительный нагрев
Индукционный электронагрев токами: промышленной частоты повышенной частоты	Нагрев заготовок диаметром более 150—200 мм Нагрев заготовок всех типов и размеров диаметром до 150—200 мм	Умеренно быстрый нагрев Весьма быстрый нагрев. В обоих случаях может быть с защитной атмосферой

Нагревательные устройства	Назначение	Условия нагрева
Контактный электронагрев	Нагрев заготовок диаметром до 60—70 мм с постоянным сечением по длине (преимущественно большой длины, $\frac{L_0}{D_0} > 15$)	Быстрый нагрев, может быть с защитной атмосферой
Нагрев в электролите	Нагрев заготовок небольших размеров и сечений	Быстрый безокислительный нагрев
Нагрев в расплавленном стекле в печах ванного, барабанного и толкательного типов	Нагрев заготовок диаметром 30—150 мм	То же
Нагрев в кипящем слое	Нагрев заготовок небольших габаритных размеров	То же

с периодическим погружением заготовок и в печах с толкателем. Новым нагревательным устройством являются печи для нагрева в кипящем слое огнеупорного материала.

3. Нагрев слитков

Основой термического режимаковки являются общая продолжительность и скорость нагрева металла. Различают максимально возможную и допустимую скорости нагрева металла. Максимально возможная скорость нагрева стали зависит от конструкции и тепловой мощности печи; условий передачи теплоты металлу; физических свойств металла и условий теплопередачи внутри слитка. Допустимая скорость нагрева определяется комплексом физико-химических свойств металла, при этом учитывают опасность перенапряжения литого металла и необходимость обеспечения нормальных условий при последующей деформации слитков.

Установлено, что наиболее опасным является период нагрева стальных слитков примерно до 500° С. При нагреве наружный слой слитка приобретает более высокую температуру, чем средняя часть. Этот слой стремится расшириться, чему препятствует средняя часть слитка; в результате образуются опасные радиальные напряжения растяжения. Неметаллические включения, пузыри,

нерастворенные карбиды играют при этом роль концентраторов напряжений, приводящих к трещинам. При достижении критической температуры в поверхностном слое заготовки происходит уменьшение объема (при переходе Fe_α в Fe_γ , обладающее большей плотностью), вследствие чего напряжения снижаются и могут даже изменить свои знаки. Когда весь металл достигнет температуры выше критической, наружные слои заготовки окажутся в сжатом, а внутренние — в растянутом состоянии. Однако к этому времени сопротивление деформации снижается настолько, что под влиянием тепловых напряжений может произойти местная пластическая деформация в отдельных перенапряженных местах, что в конечном счете приводит к уменьшению напряжений. Перенапряжения при нагреве более вероятны у крупных слитков и слитков из малопластичных сплавов сложного состава. Поскольку трещинообразование происходит при растягивающих напряжениях, особенные опасения вызывает также охлаждение металла.

Вопросы, связанные с расчетом нагрева, занимали ученых на протяжении многих десятилетий. В настоящее время применяют методы расчета, учитывающие условия нагрева, при которых основными источниками передачи теплоты являются конвекция и лучеиспускание. Относительно точные методы аналитических расчетов основаны на решении дифференциального уравнения теплопроводности при различных начальных и граничных условиях. В расчете нагрева учитывают переменные условия теплообмена и изменение физических свойств металла при его нагреве. Например, коэффициент теплоотдачи в температурном интервалековки изменяется в 3—4 раза, а коэффициент теплопроводности в 2—3 раза. При повышении температуры коэффициент теплопроводности для сталей различного химического состава изменяется неодинаково. Для углеродистой стали при нагревании до $900^\circ C$ теплопроводность уменьшается, тогда как для легированной стали теплопроводность постепенно увеличивается с повышением температуры. Аустенитная структура стали характеризуется увеличением теплопроводности с повышением температуры. При комнатной температуре теплопроводность углеродистой стали в 4—6 раз выше теплопроводности коррозионно-стойкой стали. Однако слитки и заготовки из этой малотеплопроводной стали (так же, как и быстрорежущей стали) нагреваются быстрее, чем равновеликие заготовки из углеродистой стали, что объясняется более низким теплосодержанием стали этих и многих других высоколегированных марок. Сложность расчета нагрева объясняется также тем, что с увеличением поперечного сечения слитка или заготовки продолжительность их прогрева увеличивается не прямо пропорционально, а в большей степени. Температура газовой среды в отдельные периоды нагрева неодинакова в разных местах печного пространства и на разных его уровнях. Появление окислов на поверхности нагреваемого металла, особенно

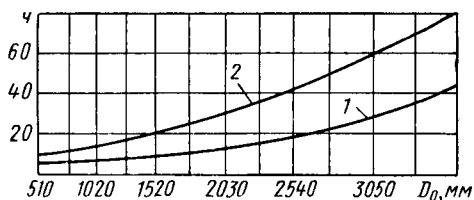


Рис. 43. Зависимость продолжительности нагрева горячих слитков до ковочной температуры от их диаметра:

1—без выдержки; 2—с выдержкой в конце нагрева (ЦНИИТМАШ)

после обдирки, например, слитков, приводит при температуре около 400°C к увеличению степени черноты поверхности стали, в связи с чем поглощение теплоты и скорость нагрева возрастают. Теплота, выделяющаяся при окислении железа, составляет примерно 5—6% от теплосодержания стали и является усложняющим фактором при расчете. При нагреве металла в промышленных печах могут быть и другие причины, усложняющие расчеты. Например, при нагреве слитка из высокопластичной стали для билетировки перепад температур между его центром и поверхностью может быть больше допустимого в обычных условиях, так как поверхностные деформации при билетировке невелики. Нагрев слитков неравномерен вследствие неодинакового поступления теплоты от стен, свода и пода печи, а при загрузке слитков садками еще более неравномерен. Со стороны пода нагрев наименее интенсивен. Указанные обстоятельства не могут быть достаточно точно учтены в типовых расчетных схемах. В связи с этим в промышленности наряду с аналитическими расчетами все еще используют данные, полученные опытным путем и позволяющие установить общую продолжительность нагрева. Для приближенного определения продолжительности нагрева холодных слитков из углеродистой и низколегированной сталей перед ковкой можно воспользоваться проверенной на практике формулой Н. Н. Дорбехотова, по которой построен график (рис. 43):

$$Z = \alpha D_0 \sqrt{D_0}, \quad (16)$$

где Z — общая продолжительность нагрева, включая выдержку, ч; D_0 — диаметр слитка, м.

Коэффициент α принимают равным 10 для углеродистой стали (кривая 1) и 20 — для легированной стали (кривая 2). Формула (16) соответствует нагреву заготовок при температуре печи 1300 — 1350°C . Нагрев до 1200°C подразделяется на два периода: от 20 до 850°C и от 850 до 1200°C . В первом периоде время нагрева равно 50% для углеродистой и 66% для легированной стали от общего времени.

Предполагается, что при нагреве металла температурный напор (разность между температурами печи и металла в конце нагрева) составляет 100 — 150°C , что согласуется с практикой эксплуатации кузнечных печей.

Получаемые по формуле (16) данные относятся к нагреву одного слитка в печи. Время нагрева слитков в печи при прочих равных

условиях зависит от числа слитков, нагреваемых одновременно, и от способа их расположения на поду. При загрузке слитков из углеродистой и низколегированной стали в один ряд (смежно без зазора) время нагрева увеличивается примерно в 1,3 раза, при загрузке пирамидой (в несколько рядов друг на друга) — в 1,5 раза. При увеличении температурного напора продолжительность нагрева металла сокращается. При этом увеличивается неравномерность (перепад) температур по сечению (разность между температурами поверхности и середины слитка), что может вызывать перенапряжение металла. Поскольку в условиях цеха контролировать величину этой разности не представляется возможным, необходимо знать следующие данные. На рис. 44 показана зависимость неравномерности прогрева по сечению слитка (диаметром D_0) от температурного напора в конце нагрева слитков при температуре печи 1200°C . На рисунке приведены данные для небольших ($D_0 < 0,5$ м) и крупных слитков. Для слитка диаметром 0,5 м наблюдается прямо пропорциональная зависимость между величинами неравномерности прогрева и температурного напора. Для мелких слитков большим величинам температурного напора соответствует меньшая неравномерность прогрева, для крупных слитков — обратная зависимость. По графику на рис. 44 можно определить величину температурного напора при заданной величине неравномерности прогрева. Решается и обратная задача. На практике стремятся к тому, чтобы на ковку поступал металл с возможно меньшей величиной неравномерности температуры по сечению. Желательно, чтобы эта величина не превышала $50\text{--}100^\circ\text{C}$. В процессе нагрева допускают значительно большую неравномерность температуры. Если температура металла не совпадает с температурой «провала пластичности» (зон синеломкости, краснеломкости и т. п.), то литая низколегированная сталь выдерживает тепловые положительные напряжения, отвечающие перепаду температур по сечению $350\text{--}400^\circ\text{C}$. Для углеродистой стали перепад может быть еще большим.

Время выдержки для выравнивания температуры по сечению слитка, выраженное в % от времени нагрева поверхности слитка, увеличивается с увеличением диаметра слитка и температурного напора. Для крупных слитков выдержка в конце нагрева при величине температурного напора 150°C может даже пре-

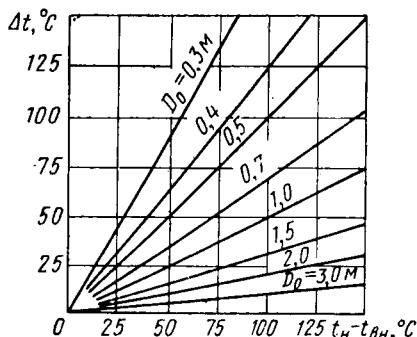


Рис. 44. Зависимость неравномерности прогрева по сечению слитка $t_{\text{н}} - t_{\text{гн}}$ от температурного напора Δt в конце нагрева (по данным ЦНИИТ-МАШа)

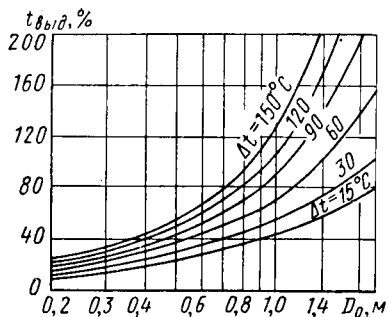


Рис. 45. Зависимость выдержки $t_{\text{выд}}$ от продолжительности нагрева поверхности слитка при различных температурных напорах Δt (по В. Н. Соколову)

высить продолжительность нагрева поверхности. Эти данные используют для составления производственных норм нагрева (рис. 45).

Для характеристики нагрева металла необходимо указать температуру, скорость и продолжи-

тельность нагрева. Режим нагрева слитков обычно представляют в виде рабочего графика изменения температуры печи и металла в процессе нагрева в зависимости от его продолжительности.

На практике применяют одноступенчатый, двухступенчатый и трехступенчатый режимы, а при нагреве высоколегированного металла — и более сложные режимы.

Одноступенчатому режиму соответствует постоянная температура печи в течение всего периода нагрева металла. При указанном режиме нельзя регулировать разность температур по сечению слитка, поэтому его применяют только для небольших слитков.

Двухступенчатый режим включает обычно нагрев и выдержку (нагрев до заданной температуры поверхности и выравнивание температуры по сечению). При регулировании разности температур по сечению слитка температура печи может быть переменной. Этот режим применяют при нагреве в камерных и методических печах небольших и средних слитков из углеродистой стали.

Трехступенчатый режим состоит из периодов медленного нагрева вначале, ускоренного нагрева в последующий период и выдержки, завершающей процесс нагрева. Этот режим применяется при нагреве средних и крупных слитков в камерных и методических печах. Очень крупные слитки из стали сложного химического состава нагревают по многоступенчатому режиму, число ступеней которого соответствует числу периодов нагрева и выдержек. Наличие отдельных периодов может быть объяснено при рассмотрении реальных графиков нагрева металла (рис. 46). По оси абсцисс откладывают время нагрева в минутах, по оси ординат — температурный критерий θ . В данном случае это относительная температура поверхности или середины заготовки (слитка):

$$\theta = \frac{t_n - t}{t_n - t_0},$$

где t_n — температура печи, °C; t — температура поверхности или середины заготовки (слитка), °C; t_0 — начальная температура металла, °C.

Величину θ откладывают на графике в логарифмическом масштабе. Кривые (1 — поверхность, 2 — середина заготовки) в виде ломаных линий имеют три точки перелома, дающие возможность разделить процесс нагрева в общем случае на четыре периода.

Период I обусловлен быстрым подъемом температуры поверхности заготовки и медленным нагревом ее середины.

Период II характеризуется плавным подъемом температуры поверхности и середины заготовки. В течение периода III по мере достижения критической температуры (720°C) в металле совершаются структурные превращения, но не одновременно в различных местах по сечению.

Период IV соответствует регулярному режиму нагрева до момента достижения заданной температуры. Начало этого периода совпадает с прогревом середины заготовки до критической температуры ($\theta = 0,4$). Из приведенного выражения для θ можно определить, что в момент прогрева середины заготовки на поверхности (при $\theta = 0,3$) температура равна 850°C , т. е. она на 130°C выше критической. При составлении рабочего графика режима нагрева слитков необходимо стремиться к тому, чтобы значительные разности температур по сечению не совпали с температурными периодами снижения пластичности стали и чтобы к концу нагрева температурная неравномерность была в допустимых границах. Поскольку наиболее опасным считается период нагрева до 500°C , то в графике должны быть предусмотрены медленный нагрев в начале и выдержка при постоянной температуре в конце нагрева, необходимые для уменьшения перепада температур. Простейший режим нагрева слитков стали состоит из трех ступеней: 1 — нагрев с учетом опасных напряжений (до $\sim 500^{\circ}\text{C}$), 2 — быстрый

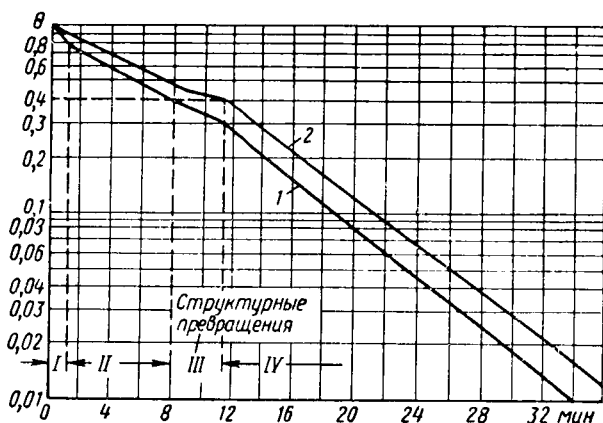


Рис. 46. Четыре периода нагрева стальных заготовок (диаметр 100 мм, $t = 1200^{\circ}\text{C}$, сталь среднеуглеродистая)

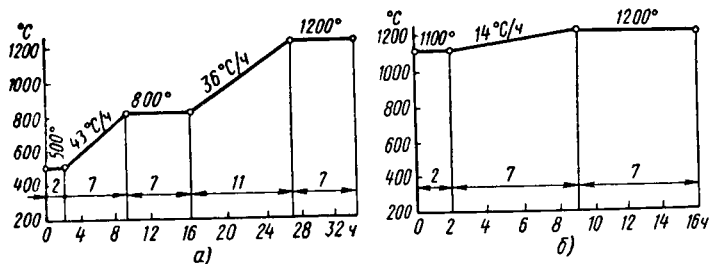


Рис. 47. Режимы нагрева холодного (а) и горячего (б) слитка массой 45 000 кг (УЗТМ)

нагрев до ковочной температуры на поверхности слитка и 3 — выдержка для выравнивания температуры по сечению. На практике обычно применяют более сложные многоступенчатые режимы нагрева. На рис. 47 даны заводские графики нагрева слитков массой 54 000 кг ($D_{\text{ср}} = 1450$ мм, $L_0 = 4200$ мм). При нагреве холодного слитка (рис. 47, а) посадка в печь при температуре 500°C сопровождается двухчасовой выдержкой. Следующая выдержка предусмотрена при 800°C в районе критических температур и последняя при 1200°C для выравнивания температуры по сечению слитка. Общая продолжительность пребывания слитка в печи по данному пятиступенчатому режиму нагрева составляет 34 ч. При посадке неостывшего после отливки слитка (рис. 47, б) печь может иметь высокую температуру (в данном случае 1100°C), при которой дается небольшая выдержка (2 ч), после нагрева до 1200°C предусматривается еще одна выдержка с той же целью, что и при нагреве холодного слитка. Таким образом, это трехступенчатый нагрев¹.

На рис. 48 приведен график контрольного нагрева холодного слитка по режиму, указанному на рис. 47, а. Кривая б (рис. 48) соответствует разности температур между поверхностью и серединой слитка. По этой кривой можно проследить максимальные перепады температур, наибольший из которых к 29-му часу несколько превышает 300°C , но находится в безопасной области температур (значительно выше 500°C). Современная технология требует загрузки в печь крупных слитков в нагретом состоянии. Они подаются обычно из сталелитейного цеха в специальных термосах при температуре поверхности около $700\text{--}800^\circ\text{C}$, опасный период нагрева при этом исключается, а расходы на нагрев сокращаются.

В последнее время режим нагрева слитков значительно совершенствуется исходя из требований качества поковок и технологии

¹ Эти режимы нагрева исследованы ЦНИИТМАШем. Была установлена возможность сокращения продолжительности нагрева, а также повышения начальной температуры печи для холодного слитка.

их изготовления. Одно из усовершенствований состоит в использовании неравномерности температурного поля нагретого слитка для получения заданного распределения деформаций при ковке. Зоны слитка, нагретые до относительно более высоких температур, начинают деформироваться раньше и получают большие деформации, чем зоны с более низкой температурой. Используя возможности современной техники нагрева металла, удастся получить зоны более нагретого металла — с поверхности, в осевой части и даже на некотором расстоянии от оси слитка, соотносясь с необходимостью проработки тех или иных областей его объема. Например, при ковке слитков с развитыми зонами V-образной и внеосевой ликвации необходимо обеспечить преимущественную проработку этих зон и именно в начальной стадии процессаковки. В Московском институте стали и сплавов разработан ряд тепловых режимовковки такого типа. На рис. 49 приведены для сравнения схемы тепловых полей по сечению слитка (нижняя часть рисунка) равномерного (а), с более нагретой осевой зоной (б) или периферией (в) и преимущественно нагретой зоны в области $\frac{1}{3} R$ сечения слитка (г). Соответствующие распределения температур (слева) и сопротивления деформации (справа) показаны на графиках (верхняя часть рис. 49).

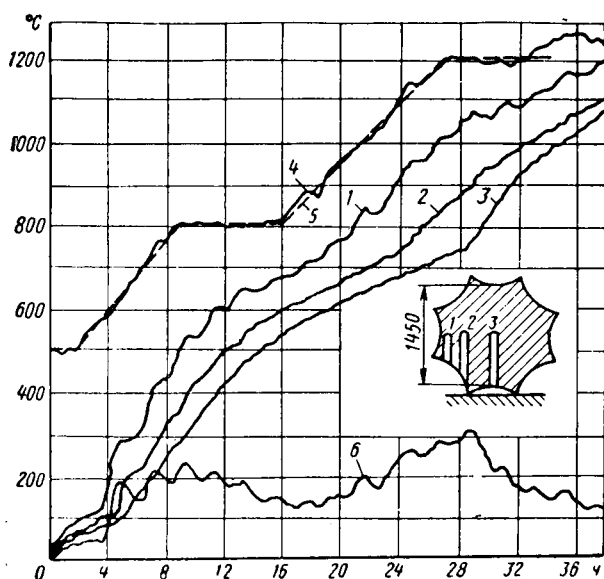


Рис. 48. Изменение температуры при нагреве холодного слитка массой 45 000 кг:

1 — вблизи поверхности; 2 — на расстоянии $\frac{1}{3}$ радиуса; 3 — в середине сечения слитка; 4 — температура печи; 5 — заданный режим; 6 — разность температур печи и середины сечения слитка

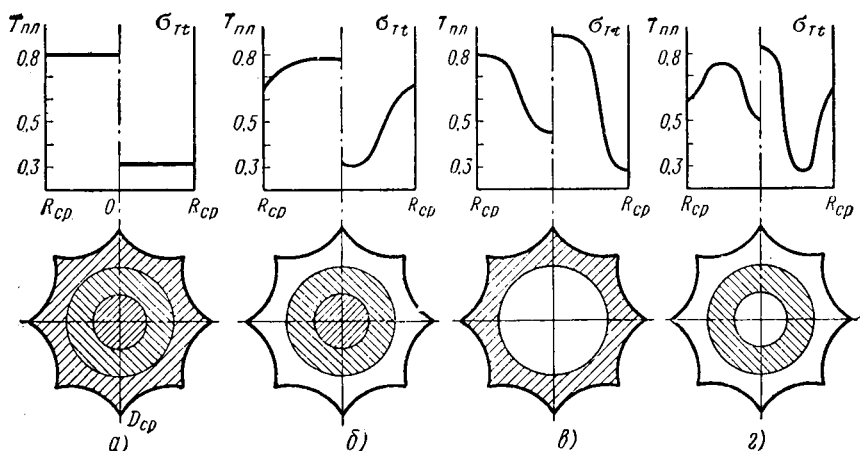


Рис. 49. Схема расположения зон более нагретого металла (заштрихованы) с целью преимущественной проковки в заданном участке сечения восьмигранного слитка (МНСиС)

Для расчета подобных полей необходимы данные об изменении температуры металла во времени при нагревании и охлаждении, а также данные, связывающие температурные градиенты с соответствующими перепадами сопротивлений деформации. Для сплавов различных марок эти данные неодинаковы, в связи с чем используется моделирование необходимых режимов. Равномерное температурное поле (рис. 49, а) достигается при достаточно большой выдержке слитка в печи. Из-за чрезмерной потери металла с окалиной обычно не добиваются полной однородности температурного поля.

Поле по схеме на рис. 49, б обеспечивается комбинацией нагревания и последующего подстуживания. По мере остывания периферийной части слитка толщина подстуженного слоя увеличивается, а температура средней части уменьшается. Подстуженная оболочка создает весьма полезные дляковки дополнительные сжимающие напряжения внутреннего объема металла, а его более высокая температура — преимущественную деформацию осевой области слитка, что способствует закрытию и заварке внутренних несплошностей. Этот режим нагрева особенно ценен для высоколегированной стали и крупных слитков, отливка которых сопровождается образованием внутренних несплошностей. Режим подстуживания может быть осуществлен и при использовании теплоты отливаемого слитка. Для обеспечения подобного теплового режима необходимы сведения о скорости остывания и распределении температуры по сечению слитка. Приблизительно, на основании ряда физических констант, этот режим может быть рассчитан и аналитически.

Поле по схеме 49, *в* получается при недогреве (непрогреве) слитка по сечению. Обычно этого добиваются путем сокращения или полного устранения выдержки слитка при достижении на поверхности заданной температуры. Если для данного сплава безопасны большие перепады температуры по сечению (до 400—500° С), то применим также форсированный нагрев слитков, что позволяет при ковке не только сосредоточить деформации в более нагретом поверхностном слое (например, при биллетировке), но и увеличить производительность работы за счет уменьшения продолжительности нагрева металла. Биллетировка (ликвидация многогранности и конусности слитка) при равномерном температурном поле слитка создает неблагоприятные растягивающие напряжения в его осевой зоне (подробно об этом см. гл. IV).

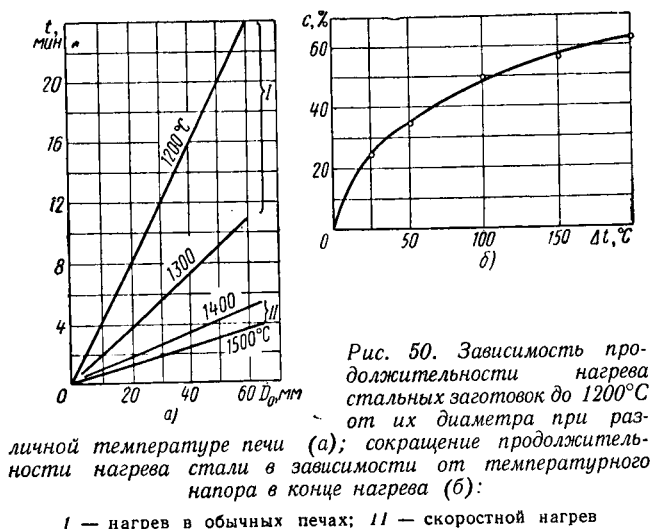
Сложное температурное поле по рис. 49, *г* бывает необходимо, например, при проработке зоны внеосевой ликвиции, обычно расположенной по всей длине слитка на расстоянии $\frac{1}{3}$ радиуса от его оси. Обеспечивают соответствующий режим, нагревая слиток до $(0,35—0,4) T_{пл}$ по всему сечению (для среднеуглеродистой стали 500—550° С), затем следует форсированный нагрев до ковочной температуры $(0,9 T_{пл} \approx 1250^\circ \text{С})$ с тем, чтобы слиток преимущественно прогрелся на $\frac{2}{3}$ в направлении его оси, после чего слиток подстуживают на воздухе. Последующая ковка обеспечивает проработку внеосевой ликвиции по длине слитка.

Неравномерное температурное поле по длине слитка или заготовки может быть использовано весьма эффективно. Например, при необходимости закончить ковку при наименьшей допустимой температуре нагревают болванку так, чтобы отковываемый первый ее конец имел более низкую температуру, причем, другой конец болванки может быть нагрет даже выше допустимой температуры началаковки, так как он остынет к окончаниюковки первого конца болванки. Возможны и другие варианты использования неравномерных температурных полей.

4. Нагрев заготовок

Заготовки представляют собой уже деформированный металл, а размеры их меньше слитков, поэтому режим нагрева у заготовок проще. В зависимости от химического состава металла и размеров заготовок применяют различные режимы нагрева. В промышленности за последние 30—40 лет наблюдалась тенденция к значительному увеличению скорости нагрева металла. Старые нормы, согласно которым заготовки дляковки и штамповки нагревались медленно и с большими выдержками, давно отменены, и большее применение получили режимы ускоренного нагрева металла (особенно при штамповке).

Широко практикуется нагрев мелких и средних заготовок с любой достижимой скоростью. Только скорость нагрева некоторых специальных сплавов ограничена (в период нагрева их до 500° С).



Необходимый интервал температур в пределах допустимого определяется по затрачиваемому времени на ковку, штамповку в зависимости от сложности технологического процесса, числа требующихся ходов или ударов машины, быстроходности оборудования и механизации вспомогательных операций. Для точного определения этого интервала необходимо сопоставить продолжительность остывания стали в допустимом интервале температур с продолжительностью технологического процесса. Время штамповки часто оказывается меньше времени остывания стали в допустимом интервале температур, поэтому появляется возможность выбора оптимального интервала температур.

Для уменьшения расхода энергии штамповку целесообразно проводить при более высоких температурах. Если предусмотрена термическая обработка поковок, то штамповку можно начинать при максимально допустимой температуре и заканчивать при температуре даже выше 1000° С. Однако во избежание снижения стойкости необходимо не интенсивное охлаждение штампов.

Для того чтобы обеспечить высокую температуру начала штамповки, максимальную производительность штамповочного агрегата и минимальные потери металла в угар, нагрев металла производят с максимально допустимым температурным напором. При этом температура перегрева стали немного повышается. Заготовки для ковки и штамповки можно нагревать без выдержки в конце нагрева для выравнивания температуры по сечению. При этом допускаются значительно большие перепады температур между поверхностью и серединой заготовки, чем в случае нагрева слитков.

На рис. 50, а дана зависимость продолжительности нагрева стальных заготовок диаметром до 60 мм, нагреваемых по 1 шт. до 1200° С при различных температурах печи. Как видно из графика, продолжительность нагрева становится небольшой при температуре печи 1400° С и особенно при 1500° С (в печах скоростного нагрева).

Увеличение температурного напора между печью и металлом в конце нагрева приводит к уменьшению времени нагрева (рис. 50, б). По оси абсцисс откладывают величину температурного напора в конце нагрева металла. По оси ординат откладывают коэффициент относительного сокращения времени нагрева металла
$$c = \frac{t_{1200} - t_m}{t_{1200}} 100\% \quad (t_{1200} - \text{время нагрева данной заготовки до температуры } 1200^\circ \text{ С без температурного напора в конце нагрева; } t_m - \text{время нагрева при наличии температурного напора}).$$
 Если обычные условия работы печей при температуре 1300—1350° С соответствуют конечному температурному напору 100—150° С, то при скоростном нагреве температура печи достигает 1500° С, а конечный температурный напор 300° С. При сверхскоростном нагреве металла (например, в зоне керамического кожуха горелки, разогретого потоком сгорающего газа до 1650—1700° С) конечный температурный напор может достигнуть 450—500° С. Величина температурного напора между печью и металлом в конце нагрева определяет перепад температур между поверхностью и серединой заготовки в процессе нагрева. При больших сечениях заготовок этот перепад при скоростном нагреве может достигать 600—700° С.

В табл. 14 приведена продолжительность нагрева некоторых углеродистых сталей при температуре печи 1350° С с учетом температуры началаковки и штамповки.

На практике часто используют удельное время нагрева на единицу диаметра или стороны квадрата. Этот метод расчета нельзя считать достаточно строгим, так как удельное время нагрева стали не постоянно в большом диапазоне размеров сечения прутков.

Для расчета времени нагрева заготовок можно использовать различные справочные данные, в том числе и данные (см. рис. 50),

Таблица 14

Продолжительность нагрева (мин) углеродистой стали

С, %	Температура началаковки, °С	Диаметр заготовки, мм			
		25	50	75	100
0,4	1275	4	8,5	11	15
0,7	1250	3,5	8	10	13,5
1,1	1200	3	7	9	12

**Зависимость коэффициента увеличения времени нагрева металла
от расположения заготовок на поду печи**

Расположение заготовки	Коэффициент увеличения времени для заготовок	
	круглых диаметром D_0	квадратных с размером грани a_0
На подставке (единичная)	1,0	1,0
На поду (единичная)	1,0	1,25
Без зазора	2,0	3,0
Расстояние между заготовками в долях от D_0 или a_0		
0,12	1,65	2,3
0,25	1,47	1,95
0,5	1,32	1,5
1,0	1,2	1,4
2,0	1,1	1,3
3,0	1,0	1,25

которые относятся к нагреву одной заготовки. Если в печи нагревают группу заготовок, то время нагрева увеличивается, но не одинаково в зависимости от формы сечения заготовок и расстояния между соседними заготовками.

Зависимость коэффициента увеличения времени нагрева от расположения заготовок на поду камерной печи видна из табл. 15.

Расчеты производительности печей показали, что наиболее целесообразное расположение заготовок на поду соответствует расстоянию между ними для круглых заготовок (0,15—0,25) D_0 и для квадратных по сечению заготовок (0,33—0,5) a_0 .

На продолжительность нагрева, кроме диаметра заготовки, влияет отношение диаметра заготовки к ее высоте $\frac{D_0}{H_0}$. По данным ЦНИИТМАШа, за счет изменения величины этого отношения от 0,25 до 2 время нагрева может быть сокращено почти наполовину:

$\frac{D_0}{H_0}$	0,25	0,33	0,4	0,5	0,66	0,8	1	2
Коэффициент сокращения времени нагрева	1,0	0,96	0,92	0,86	0,77	0,73	0,66	0,48

При нагреве электрическим током теплота возникает внутри заготовки, следовательно, скорости нагрева могут быть более высокими, чем при нагреве даже в печах скоростного пламенного нагрева. При индукционном нагреве теплота по сечению распределяется неравномерно (более высокие температуры имеют наружные слои заготовки), причем чем больше глубина проникновения тока, тем меньше неравномерность, уменьшающаяся в дальнейшем за счет теплопроводности. Как известно, с уменьшением

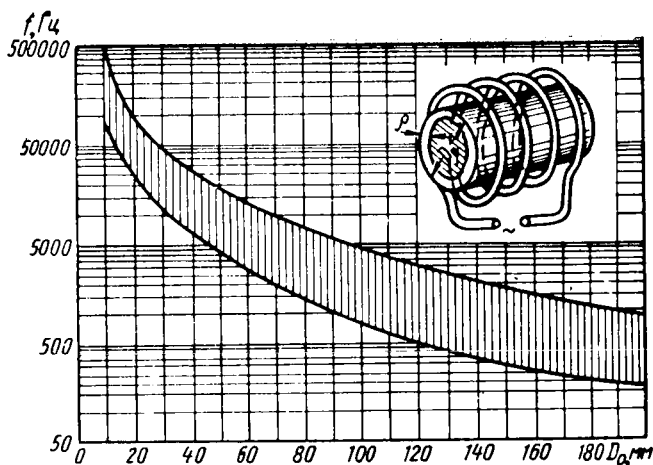


Рис. 51. График для определения частоты тока f при индукционном нагреве круглых заготовок из конструкционной стали (по М. Г. Лозинскому)

частоты тока эквивалентная глубина проникновения тока ρ увеличивается (рис. 51). Приведенный график позволяет определить диапазон (заштрихованная часть) рекомендуемых частот при сквозном индукционном нагреве цилиндрических заготовок для штамповки диаметром 10—200 мм из низколегированной конструкционной стали. При построении нижней границы интервала частот было использовано выражение

$$f = \frac{5,8 \cdot 10^6}{D \delta} \text{ Гц.} \quad (17)$$

Механизированная установка для нагрева перед штамповкой мерных заготовок показана на рис. 52, а. При продолжительном нагреве на заготовках образуется большая окалина. Для создания в индукторе защитной атмосферы через него пропускают нейтральный газ.

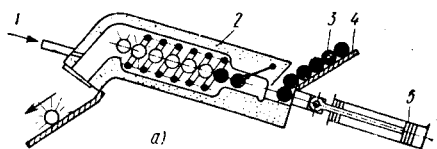
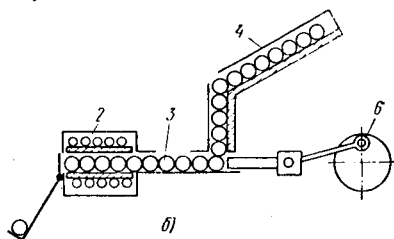


Рис. 52. Механизированные установки индукционного нагревателя методического действия с поршневым толкателем (а) и с толкателем кривошипного типа (б)

1 — подвод нейтрального газа; 2 — индуктор; 3 — мерные заготовки; 4 — наклонное загрузочное устройство; 5 — пневмотолкатель; 6 — кривошипный толкатель



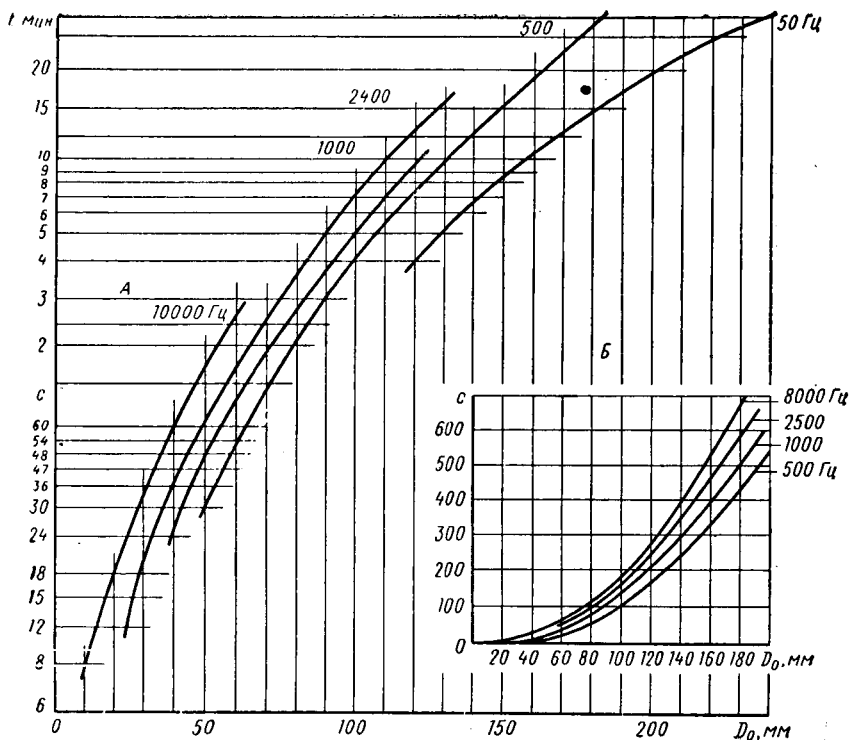


Рис. 53. Продолжительность индукционного нагрева круглых стальных заготовок (по Л. Н. Шамову):

А — обычный и Б — ускоренный

В качестве защитных атмосфер могут быть применены аргон, а также взрывобезопасные среды. Такие среды, создаваемые, например, из технического азота и природного газа, не содержат больших количеств CO (3,0—7,5%) и H_2 (1,5—7,0%). Защитную атмосферу из природного газа получают при его сжигании и специальной обработке с добавкой свежего природного газа, в результате которой образуется среда, содержащая 1—3% CO и 3—9% H_2 . Регулированием состава атмосферы при нагреве стали можно получить любой из следующих составов газов: науглероживающий, нейтральный или обезуглероживающий.

Современные индукционные нагревательные установки обеспечивают нагрев круглых, квадратных и полосовых прутков. Индукторы должны быть расположены строго горизонтально во избежание притока воздуха (кислорода) и значительного увеличения окалины. При вертикальном расположении индуктора угар стали превышает 3%, тогда как при горизонтальном его положении угар составляет только несколько десятых долей процента.

Щелевые нагреватели применяют для концевой нагрева прутков, двух- и трехручьевые нагреватели обеспечивают более высокий темп работы оборудования по сравнению с одноручье-вой нагревательной установкой. В начале индукционного нагрева образуется большой перепад температуры по сечению, который к концу нагрева уменьшается. Почти полное выравнивание температур происходит очень быстро, обычно за время переноса заготовки от индуктора к штампу. Способ ускоренного индукционного нагрева основан на применении индукторов с переменным шагом витков. Вначале заготовка попадает в зону плотного расположения витков, потребляя наибольшую мощность, при этом заготовка нагревается с поверхности до заданной температуры и в дальнейшем при поступлении заготовки в зоны с расположением витков с большим шагом мощность потребляемого тока меньше, но быстрый разогрев обеспечивается за счет теплопроводности. При этом время нагрева сокращается примерно в 3 раза, производительность установок может возрасти от 1—1,5 до 4—5 т/ч, что обеспечивает необходимые темпы изготовления поковок даже на быстроходном специализированном оборудовании.

Ориентировочные данные о продолжительности обычного и ускоренного нагревов в индукторе до температуры начала штамповки приведены на рис. 53 (температура поверхности 1250°C , перепад температуры $\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$).

При контактном нагреве неравномерное распределение температуры наблюдается и вдоль оси заготовки, причем в этом случае теплопроводность не способствует значительному выравниванию температуры. Однако неравномерность прогрева по сечению здесь значительно меньше, чем при индукционном нагреве, и теплопроводность играет ту же роль, что и при индукционном нагреве. Продолжительность нагрева в контактных установках зависит от характеристики установки. Ниже приведена средняя продолжительность нагрева стали электроконтактным способом.

Диаметр заготовки, мм	Продолжительность нагрева, с	Диаметр заготовки, мм	Продолжительность нагрева, с	Диаметр заготовки, мм	Продолжительность нагрева, с
20	10	30	22	46	52
22	12	34	28	50	61
25	15	38	35	60	90
28	20	42	43	70	120

Скорость контактного нагрева зависит от плотности тока, а также от удельного сопротивления металла заготовки. Продолжительность нагрева металла при контактном способе немного больше, чем при индукционном нагреве.

Из сопоставления различных способов электронгрева металла следует, что они дополняют друг друга. Индукционный способ, являясь наиболее универсальным, довольно трудно осуществить

Сопоставление некоторых показателей различных способов электронагрева металла

Способ нагрева	Затраты в относительных единицах		К. п. д. по нагреву	Минимальный расход энергии, кВт·ч/т
	на установку	энергии на нагрев		
Индукционный	1	1	0,4—0,65	400
Контактный	0,45	0,8	0,6—0,7	325
Электролитный	0,28	0,55	0,3—0,45	250

для нагрева и особенно подогрева фасонных заготовок. Заготовки большой длины целесообразно нагревать способом контактного электронагрева.

Специфика электролитного нагрева состоит не только в том, что его применяют для мелких заготовок, но и в том, что он исключает окисление поверхности металла и очищает ее от любого загрязнения в процессе нагрева. При нагреве в электролите одновременно происходит термохимическая обработка металла. Этим способом в процессе нагрева можно насытить поверхностный слой металла серой, медью, никелем, азотом и т. п. Это может быть использовано и для создания пластифицированного слоя, получения повышенных механических свойств металла, для предотвращения его насыщения нежелательными элементами и коррозионных процессов.

Ориентировочные технико-экономические показатели различных способов электронагрева приведены в табл. 16.

Незначительная продолжительность нагрева способствует уменьшению потерь металла в окалину. Для углеродистых сталей начало интенсивного окалинообразования соответствует 675—700° С. Плотный начальный слой окисла затрудняет дальнейший процесс угорания металла, так что скорость окисления падает по параболическому закону

$$x^2 = kt, \quad (18)$$

где x — прирост массы вследствие образования окалины; k — коэффициент пропорциональности; t — время.

Окалина плотно соединяется с металлом, из которого она образовалась, в том случае, если разница плотностей металла и окалины невелика. В других случаях слой окалины отстает от металла, при этом скорость его окисления постоянна и выражается законом прямой линии

$$x = kt. \quad (19)$$

Появление окалины сопровождается образованием нескольких слоев окислов, богатых кислородом. Слой, прилегающий непо-

средственно к металлу, содержит окисел FeO . По данным В. А. Куроедова, при 700°C окалина на стали состоит из окислов, которые находятся в таком соотношении: $\text{FeO} : \text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{Fe}_2\text{O}_3 = 100 : 10 : 1$. С повышением содержания углерода в стали (начиная с 0,3%) потери от угара уменьшаются. Легирование стали (Cr, Al, Si, Ni) приводит к уменьшению угара. Легирующие элементы (Cr, Al, Si, Ni) приводят к образованию окарины, имеющей примерно одинаковый со сталью коэффициент расширения. Стали, которые образуют сплошную нерастрескивающую пленку окислов, защищающую от дальнейшего окисления, называют жароупорными. Пары воды, находящиеся в атмосфере печи, делают окалину рыхлой и впоследствии легко отделимой, но ускоряют угар металла.

Окалину подразделяют на первичную, образующуюся при нагреве перед ковкой, штамповкой, и вторичную, образующуюся в процессековки, штамповки и при последующем охлаждении поковки. Опытным путем установлено, что вторичная окалина достигает 0,5—0,6%.

Обычно считают, что первичная окалина в среднем составляет 1,5—2,5% от массы нагреваемого металла. Однако величина угара металла в камерных и методических печах без применения защитной атмосферы достигает 3—4%.

На величину угара влияет большое число факторов. Отношение размеров заготовок ($H_0 : D_0$) определяет кратчайший путь, обеспечивающий сквозной прогрев заготовок: если $D_0 < H_0$, то сквозной нагрев заготовки происходит по ее радиусу; если $D_0 > H_0$, то прогрев заготовки произойдет вдоль ее оси. С другой стороны, отношение размеров заготовок определяет их положение на поду печи. Высокие заготовки $D_0 < H_0$ укладывают на поду в горизонтальном, а низкие $D_0 > H_0$ устанавливают в вертикальном положении. Различное положение заготовок изменяет условия нагрева и окисления металла, так как со стороны пода металл холоднее и окисляется меньше. При нагреве длинных прутковых заготовок угар зависит и от их длины и диаметра (рис. 54).

Окисление поверхности заготовки протекает неравномерно. Например, у квадратных заготовок сильнее угорает металл грани, обращенной к своду (угар со стороны этой грани в методической печи составляет 40% от общего). Несколько меньше угорает металл

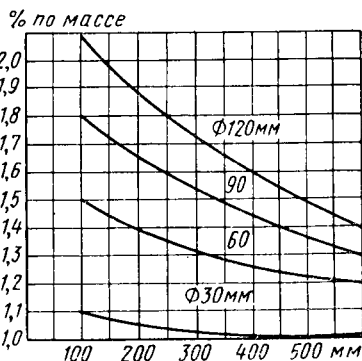


Рис. 54. Угар стали в зависимости от диаметра и длины заготовки (по М. А. Касенкову)

на грани заготовки, обращенной к сварочной камере (28%), затем на задней грани (18%), еще меньше на грани, прилегающей к подине (11%), и на торцах длинных заготовок (3%). Окалина повышает теплопередачу, что приводит к некоторому уменьшению продолжительности нагрева. Количество окисления возрастает особенно быстро при температурах выше 900° С. Если принять величину окисления при 900° С за единицу, то при более высоких температурах количество окисления прогрессивно увеличивается:

Температура, °С	900	950	1000	1100	1300
Коэффициент увеличения окисления	1	1,25	2	3,5	7

Исходя из этих данных, нагревать свыше 900° С следует по возможности быстро, тем более, что образование по сечению заготовки значительного температурного перепада при этих температурах безопасно для любого сплава.

При повышении скорости движения газов до 0,1 м/с интенсивность окисления стали увеличивается. Дальнейшее возрастание скорости движения газов не увеличивает их вредного воздействия.

В расчетах вместо постоянной величины угара 1,5—2,5% следует принимать более точные ее значения с учетом диаметра и длины нагреваемой заготовки. При повторном нагреве (подогреве) общий угар возрастает примерно в 1,5 раза.

Сокращение продолжительности нагрева с целью уменьшения угара не является единственным средством, хотя и позволяет уменьшить окалину в 1,5—2,0 раза, например при скоростном нагреве. Целесообразно применять для этой же цели защитную атмосферу. При работе без избытка кислорода в печи угар металла резко сокращается.

В связи с переводом нагревательных печей в кузнечных цехах на газовое топливо проблема безокислительного нагрева металла перед штамповкой решается более просто. На ряде заводов успешно эксплуатируют печи для мало- или безокислительного нагрева. Общая их характеристика следующая. Коэффициент расхода воздуха печей, равный 0,45—0,55, зависит от состава нагреваемой стали. Температура подогрева воздуха ~600° С. Газ рекомендуется подогревать до 500—600° С. В некоторых конструкциях печей осуществлен принцип двухстадийного сжигания газа. Футеровку применяют карборундовую. Для подогрева воздуха используют рекуператоры из жаропрочных материалов. Такие печи имеют к. п. д. до 35%. Напряженность пода 500—600 кг/(м²·ч) и производительность 1000—3000 кг/ч. Первичная окалина не превышает 0,1—0,15%, т. е. в несколько раз меньше вторичной, образующейся в процессековки, штамповки.

Для уменьшения угара все большее применение получают различные покрытия и обмазки металла перед нагревом. Эти средства перспективны даже для специальных сплавов, нагреваем-

мых и обрабатываемых в вакууме и в среде инертных газов. Дело в том, что обмазки и покрытия, кроме предотвращения окалинообразования, обезуглероживания и насыщения металла газами, оказывают и другие положительные влияния. Они понижают усилие, необходимое для деформирования, и способствуют лучшему заполнению металлом ручьев, так как служат смазывающим средством, понижают разогрев и деформацию рабочих кромок штампов (являясь теплоизолирующим средством), уменьшают скорость остывания металла, что увеличивает возможное время его деформации и создает условия для прогрессивного изотермического режимаковки, штамповки.

В качестве покрытий и обмазок, в большей или меньшей степени удовлетворяющих указанным требованиям, применяют коллоидные растворы стекла в изопропанолe, стеклянные обмазки на основе сульфитных щелоков, литиевые покрытия и др. Наиболее перспективно применение покрытий на холодный металл в виде суспензий стекла и покрытий металла расплавами стекла. Для получения тонкой пленки стекла (0,1 мм) вязкость расплавленного стекла не должна превышать $10 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ (100 П), обычное натриевое стекло (оконное) имеет такую вязкость при 1400°C , при 1200°C вязкость повышается до $50\text{--}60 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ (500—600 П).

В настоящее время применяют составы стекол, не содержащие дефицитных составляющих, обеспечивающих тонкую и сплошную пленку на металле, которая должна служить смазывающим и теплоизолирующим слоем. Для этого можно применять комбинированные, двойные обмазки в холодном и нагретом состояниях металла.

В Московском институте стали и сплавов разработаны и опробованы стеклосмазки из стекол, содержащих SiO_2 ; Al_2O_3 ; B_2O_3 ; Na_2O ; CaO и MgO , для безокислительного нагрева коррозионно-стойких, жаропрочных и различных титановых сплавов. Стекла, измельченные до фракции 40—50 мкм, образуют суспензию плотностью $1,6\text{--}1,8 \text{ г}/\text{см}^3$ при смешивании с целлюлозным щелоком (отход бумажного производства) и в таком виде их наносят на поверхность холодных заготовок и слитков перед нагревом.

При ковке и штамповке тугоплавких металлов и сплавов кроме окисления имеется опасность насыщения их газами и ухудшения механических свойств. Первичную обработку этих сплавов ведут при температуре $2400\text{--}1400^\circ \text{C}$. Для уменьшения окисления и предотвращения охрупчивания сплавов их нагревают, обрабатывают и охлаждают в нейтральной среде или даже в вакууме. Для создания нейтральной среды применяют аргон или гелий. Применяют также восстановительные среды, например водород для молибдена и его сплавов. Учитывая сложность и большие затраты при использовании восстановительных или нейтральных сред и особенно вакуума, стремятся тугоплавкие сплавы обрабатывать при температурах ниже температуры интенсивной растворимости газов, однако это удается только для некоторых и уже

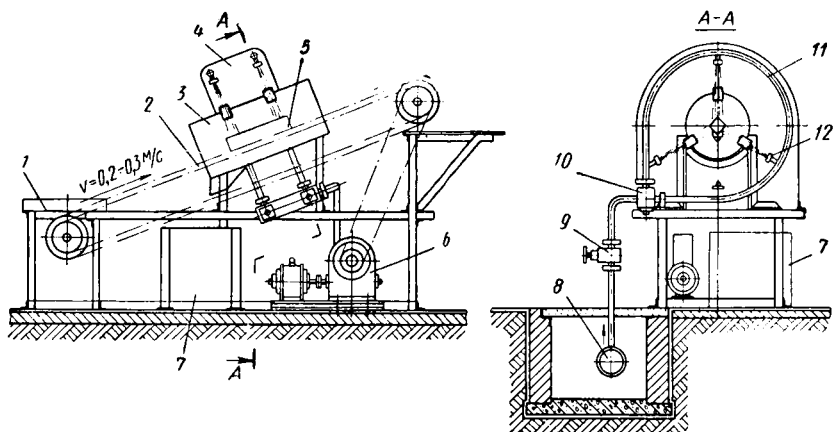


Рис. 55. Конвейерная установка для гидравлического снятия окалины с нагретых заготовок:

1 — приемный стол; 2 — транспортер; 3 — камера; 4 — кожух; 5 — заготовка; 6 — привод; 7 — бачок для окалины; 8 — магистраль; 9 — вентиль; 10 — клапан; 11 — питающие трубы; 12 — сопло

деформированных сплавов. Для ниобиевых сплавов температура растворимости газов составляет 250°C , что позволяет их вторично обработать давлением на воздухе при этой же температуре.

Учитывая большие сложности работы в защитной атмосфере и вакуумных процессах, иногда используют обработку тугоплавких сплавов в герметических (сварных) металлических оболочках. Такие оболочки применяют и при горячей обработке, например, бериллиевых сплавов, обладающих повышенной токсичностью (пары и мелкодисперсная пыль бериллия).

Так как защитить металл полностью от окисления в обычных условиях пока не удастся, то в промышленности применяют разнообразные способы удаления окалины с заготовок перед штамповкой. На многих заводах окалину со стальных заготовок снимают с помощью различных скребков, окалиноломателей и щеточных приспособлений, однако производительнее и лучше для этой цели гидроочистка. На рис. 55 приведена установка непрерывного действия для очистки от окалины мерных стальных заготовок при транспортировании их от печи к штамповочному агрегату. Окалину удаляют под действием шести радиальных струй воды, находящихся под давлением $9,81\text{—}14,72\text{ МН/м}^2$. Конические насадки с отверстием диаметром $0,75\text{ мм}$ имеют сужение под углом 13° . Число применяемых насадок зависит от диаметра заготовок.

Диаметр заготовки, мм	До 40	Свыше 40 до 60	60—80	80—100
Число насадок	6	8	10	12

Ниже приведен секундный расход воды Q на одну насадку в зависимости от давления P воды:

Давление P , МН/м ²	9,81	14,72
Расход воды Q :		
м ³	$0,061 \cdot 10^{-3}$	$0,077 \cdot 10^{-3}$
л	0,061	0,077

Гидроочистительная установка (см. рис. 55) действует автоматически.

В Московском институте стали и сплавов создана более совершенная конструкция струеобразующего устройства гидроочистительной установки. Вместо сопел применена струевая обойма, в которой вода высокого давления, сбивающая окалину, поступает через щель в обойме (рис. 56). В корпус обоймы 4 вставлено седло 1, причем угол расходящейся щели между обоймой и седлом составляет 5° . Детали обоймы соединяются с помощью фланца 3 и болтов 5 (6 шт.). Резиновая манжета 2 предотвращает утечку воды.

Струевая обойма в отличие от обоймы с насадками имеет переменную ширину струи, поступающей из образующейся под давлением воды щели, ширина которой зависит от предварительной затяжки болтов и давления воды. В обойме для очистки прутков диаметром до 85 мм расход воды при давлении 13,7—17,7 МН/м² составляет $1 \cdot 10^{-3}$ — $1,5 \cdot 10^{-3}$ м³ (1—1,5 л/с) и зависит от степени затяжки болтов. При этих условиях угол между струей и осью прутка, равный 55° , обеспечивает удаление окалины при движении прутка со скоростью 0,5 м/с. Другой вариант обоймы применяют при использовании прутков диаметром до 140 мм.

Кроме угара металла нагрев его сопровождается обезуглероживанием, которое в обычных условиях печного нагрева может достигать 0,8—1,0 мм в глубину. При нагреве с избытком кислорода слой металла, образующий угар, перекрывает обезуглероженный слой, но в условиях восстановительной атмосферы угар металла уменьшается, обезуглероживание возрастает и распространяется на большую глубину, чем окисление. Наличие в печной атмосфере паров воды и водорода способствует обезуглероживанию, которое происходит из-за окисления углерода.

5. Термический режимковки и охлаждения металла

Всесторонний нагрев заготовки большой длины характеризуется условно одинаковым разогревом каждого слоя металла,

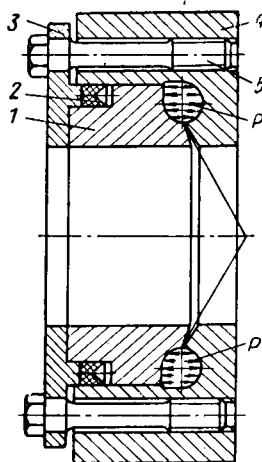


Рис. 56. Разрез струевой обоймы гидроочистительной установки (МИСиС)

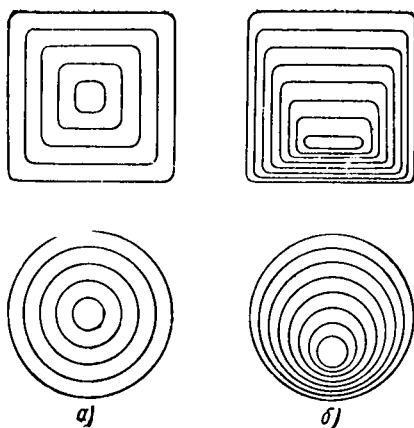


Рис. 57. Характеристика прогрева заготовок при подведении теплоты:

а — со всех сторон; б — преимущественно с одной стороны (показаны изотермы нагрева)

очерченного изотермическими замкнутыми линиями (рис. 57, а). Температура наружного слоя наивысшая и постепенно уменьшается для каждого последующего слоя. Чем выше температура наружного слоя, тем в большей степени (вследствие теплового расширения) он стремится увеличиться в диаметре, по тол-

щине и в длину. Однако сплошность заготовки препятствует нормальному расширению металла и в результате в наружном слое возникнут напряжения сжатия по всем трем осям (в радиаторном, тангенциальном и осевом направлениях). В тот период нагрева, когда теплота проникла только в наружный слой, он, будучи всесторонне сжат и стремясь оторваться от остальной заготовки, вызывает в ней напряжения растяжения. По мере проникновения теплоты в следующие слои зона появления растягивающих напряжений отодвигается к оси до тех пор, пока при полном выравнивании температуры тепловые напряжения исчезнут вовсе.

При нагреве заготовок, расположенных на поду печи, прогрев их происходит неодинаково со всех сторон, что усложняет схему распределения напряжений (рис. 57, б). Преимущественный нагрев с одной стороны приводит к тому, что зона наиболее холодного металла сдвинута от центра к сторону прилегания заготовок

Таблица 17

Влияние температуры деформации на повышение теплосодержания и температуры металла

Начальная температура металла t_0 , °C	Энергия деформации, Дж	Удельное теплосодержание		Конечная температура металла t_k , °C	Отношение q_k/q_n
		до деформации q_n , Дж/кг	после деформации q_k , Дж/кг		
20	1960	9,24	162,5	315	17,6
500	1080	273	356,6	604	1,3
800	590	504	557	837	1,1
1200	100	806	815	1210	1,01

Примечание. Теплосодержание отнесено к 1 кг деформируемого металла.

к поду. Перепад температур в различных радиальных направлениях сечения становится неодинаковым. В тангенциальных направлениях также появляется температурный перепад. В соответствии с этим неравномерность напряженного состояния при деформации металла возрастает. Непрогрев металла, наличие напряжений теплового происхождения и смещения наименее прогретой зоны относительно оси заготовки приводят к возрастанию неравномерности деформаций, которая, в свою очередь, вызывает увеличение вредных остаточных напряжений у поковок.

При рассмотрении теплового воздействия на сталь не следует ограничиваться только процессами, связанными с нагревом ее перед ковкой. Некоторую роль играет теплота, выделяемая в период деформации (особенно при больших ее скоростях и высокой температуре).

Рассмотрим соответствующие количественные данные на примере осадки под молотом простого действия стальных образцов диаметром и высотой 12,2 мм, деформированных на 50% при температурах 20—1200° С и при коэффициенте перехода энергии в теплоту 0,85 (табл. 17).

Из анализа данных таблицы следует, что с возрастанием теплосодержания по мере увеличения температуры металла значительно уменьшается роль тепловыделения, поскольку энергия и сопротивление деформации также уменьшаются. Если при 20° С теплосодержание после деформации возрастет в 17,6 раза, то при 1200° С это возрастание совсем незначительное (в 1,01 раза). Эти данные являются усредненными. На самом деле тепловыделение (так же как и деформация) локализовано и распространяется на небольшую часть объема металла. Появление при протяжке на боковой поверхности нагретой заготовки более светлых полос под углом 45° к направлению ударов иллюстрирует эффект локализации тепловыделения.

Качественную сторону процесса горячей деформации, напримерковки, с учетом изменения средней температуры металла по объему можно проследить по графику на рис. 58. По оси абсцисс отложена средняя величина зерна стали, а по оси ординат — средняя температура. У стали со среднестатистической величиной зерна, указанной буквой *a*, при нагреве до точки *b* никаких изменений не происходит. Дальнейшее повышение температуры в области перехода перлита в аустенит приводит к измельчению зерна, после перехода области критических температур сталь имеет мелкое зерно (например, в среднем соответственно точке *в*). После перехода через *Ar₃* зерно увеличивается вследствие собирательной рекристаллизации. К моменту достижения температуры нагрева под ковку (точка *г*) зерно стали увеличивается, а в процессе остывания заготовки (в период, когда ее извлекают из печи и подносят к ковочному агрегату) продолжает расти (точка *д*).

Первое обжатие заготовки приведет к измельчению зерна и некоторому повышению температуры вследствие перехода части

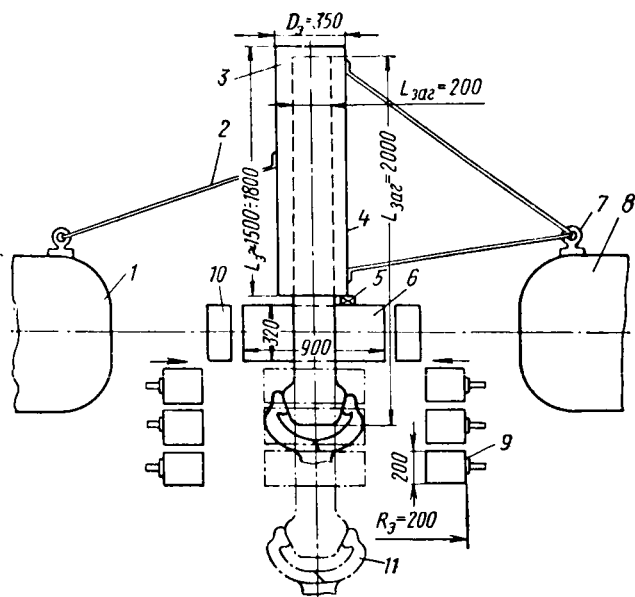


Рис. 59. Экранирование заготовки в процессековки (увеличение продолжительности остывания на 40—60%):

1, 8 — станины молота (пресса); 2 — фиксирующая тяга; 3 — асбестовая заглушка; 4 — задний, убирающийся трубный рефлектор; 5 — стопор; 6 — боек нижний; 7 — шарнир; 9 — секции переднего рефлектора; 10 — средний кольцевой стационарный рефлектор; 11 — клещи манипулятора

Для уменьшения скорости остывания металла при ковке известны попытки (в СССР и за рубежом) применения экранирования его в процессе деформации. Эффективно применение трубчатых откидных экранов-отражателей (из алюминиевого листа) при ковке длинных поковок протяжкой (рис. 59). Другой способ уменьшения теплоотдачи состоит в теплоизоляции проковываемого металла, который помещают в особый кожух или укрывают асбестовым одеялом один конец заготовки при ковке другого конца. В кузнечном цехе Уралмашзавода этим способом удается замедлить охлаждение стали в 1,5—5,0 раз, что позволяет сократить число выносов при ковке и несколько приблизиться к изотермическому режимуковки. Известен также способковки одного конца заготовки с одновременным газовым подогревом другого ее конца, зажато в клещи манипулятора. Подача горячего газа между концами и заготовкой не сложна и безопасна, особенно при дистанционном управлении манипулятором.

Хорошие результаты получены при использовании теплоизолирующих обмазок для слитков. Кроме замедления остывания, эти обмазки уменьшают силы трения (что снижает энергетические затраты), соответственно уменьшают неравномерность деформации (что повышает качество поковок) и угар металла (см. стр. 113).

По графику на рис. 60 можно определять продолжительность остывания углеродистой и низколегированной стали на воздухе при наличии асбестового теплоизолятора. Чем меньше зазор между металлом и стенкой теплоизолирующего кожуха, тем длительнее период остывания стали для слитка каждого диаметра. Необходимо иметь в виду, что теплоизоляцию можно осуществлять только для той части заготовки, которая в данный момент не подлежит ковке, и что остывание металла в процессековки идет медленнее, чем на воздухе (см. кривые на рис. 60).

Время остывания заготовок из стали t_0 (в с)

$$t_0 = 0,006\Delta T D_0, \quad (20)$$

где ΔT — среднее падение температуры по сечению заготовки, °С; D_0 — диаметр заготовки, мм.

Следующий за ковкой процесс охлаждения поковок по существу является термической операцией. Трещинообразование при охлаждении поковок встречается более часто, чем при нагревании. В начальный период охлаждения поковок поверхностные слои испытывают напряжения растяжения (+), а внутренние — сжатия (—). При дальнейшем охлаждении получается обратная картина, так как средняя часть поковки, уменьшаясь в объеме, будет сдерживаться более остывшими наружными слоями, которые при этом подвергаются сжимающим напряжениям. Так происходит охлаждение мягкой стали.

При охлаждении твердой стали растягивающие напряжения в поверхностных ее слоях вследствие пониженной релаксационной способности лишь немного уменьшаются, при этом перемена знака напряжений маловероятна.

При наличии на поверхности микро- и макротрещин опасность их развития под действием растягивающих напряжений очень

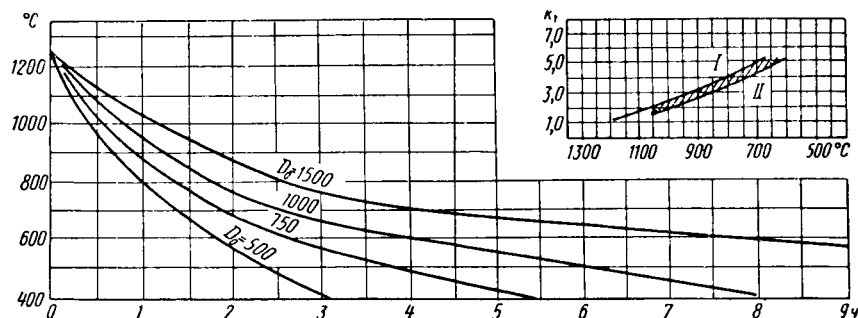


Рис. 60. Определение продолжительности остывания заготовок на воздухе и в асбестовом кожухе (УЗТМ):

I — для кожуха с зазором между металлом и асбестом до 50 мм; II — то же при зазоре до 120 мм; $K_T = \frac{t_{0\text{ст}}}{t_0}$ ($t_{0\text{ст}}$ — продолжительность остывания под кожухом и t_0 — на воздухе)

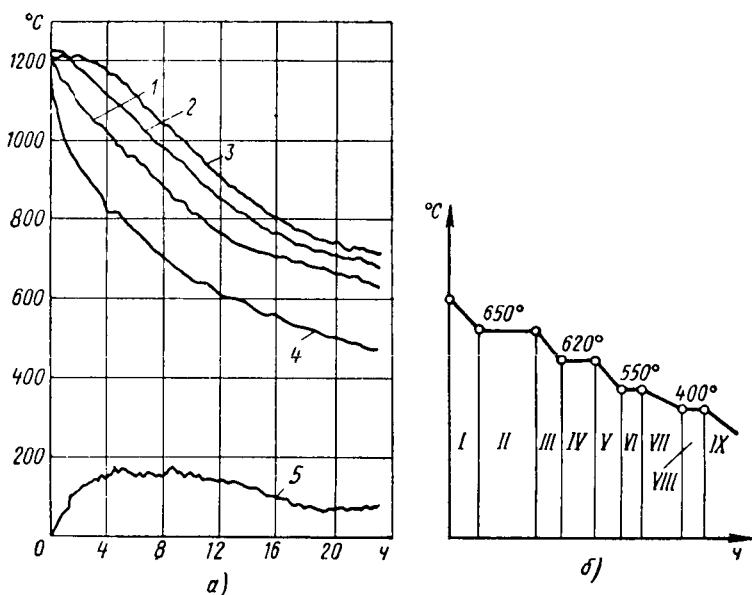


Рис. 61. Графики режимов охлаждения слитка массой 45 000 кг (а) и поковки коленчатого вала (б) при диаметре цапф 600 мм (ЧССР):

1 — поверхность; 2 — на расстоянии 1/3 радиуса; 3 — в середине слитка; 4 — печь; 5 — разность температур по сечению слитка; I — падение температуры до укладки в печь; II — выравнивание температуры, 12°/ч; III — охлаждение с печью, 10°/ч; IV — выдержка 10 ч; V — охлаждение 10°/ч; VI — выдержка 10 ч; VII — охлаждение VIII — выдержка 6—10 ч; IX — охлаждение в печи

велика. Очевидно, этим можно объяснить тот факт, что твердые стали чаще растрескиваются снаружи.

Для предотвращения поверхностных и внутренних трещин, уменьшения остаточных напряжений и предупреждения флокенообразования поковки охлаждают по специальному режиму, который в основном определяется в зависимости от химического состава стали и габаритных размеров поволоков. Общее здесь то, что скорость охлаждения не должна превышать определенного максимума. В цеховых условиях поковки из среднеуглеродистых сталей охлаждают на воздухе в одиночку или на стеллажах. Поковки из марганцесодержащих сталей охлаждают в штабелях, крупные поковки — в печах.

На рис. 61, а приведен график охлаждения крупного слитка массой 45 000 кг в печи до температуры 630° С при выключенных горелках и поднятых заслонках. Перепад температур по сечению не превышает 160—180° С после охлаждения в течение 4 ч и сохранится в течение 6 ч. Затем происходит уменьшение перепада температур. Через 23 ч перепад температур составит 80° С. На рис. 61, б приведен рабочий график девятиступенчатого охлаждения крупного коленчатого вала из хромоникелевой стали.

При необходимости режим охлаждения совмещается с нормальным режимом первичной термической обработки (отжиг, нормализация), в том числе и для предупреждения флокенообразования. При ковке сталей, чувствительных к флокенообразованию, иногда применяют промежуточную термическую обработку между операциямиковки с целью уменьшения количества водорода в металле.

6. Согласование производительностей нагревательного и ковочного оборудования

Для бесперебойной работы ковочных и штамповочных агрегатов необходимо согласование производительностей нагревательных установок и основного оборудования — молотов, прессов и т. п. Даже в крупносерийном производстве поковок каждый агрегат выпускает поковки нескольких наименований. Поэтому в каждой печи приходится нагревать разные заготовки с различным темпом их последующейковки или штамповки. Во всех случаях эксплуатации нагревательных установок эффективность использования основного оборудования зависит от правильного выбора режима их работы.

Например, при ковке одной поковки за 1 мин и нагреве заготовки данного диаметра за 30 мин организовать работу печи можно по-разному. Если в печи размещаются одновременно 30 заготовок, началоковки возможно лишь по истечении 30 мин после загрузки печи (во время нагрева ковочное оборудование простаивает). По истечении 60 мин после загрузки печь окажется разгруженной, и на протяжении следующих 30 мин происходит нагрев новой партии заготовок. В данном случае рабочее времяковки составляет 50% продолжительности нагрева (рис. 62, а).

Ковка первой заготовки происходит в нормальных условиях, все последующие заготовки нагреваются дольше, чем это необходимо, последняя заготовка из каждой партии находится в печи почти 60 мин. Если загружать в печь заготовки партиями по 15 шт. (рис. 62, б), то рабочее времяковки составит 66% от общей продолжительности нагрева (если не принимать во внимание первоначальную потерю времени 15 мин, так как первая загрузка печи может быть осуществлена в предыдущей смене).

Последняя заготовка каждой партии находится в печи менее 45 мин. При загрузке печи партиями по 10 заготовок (рис. 62, в) рабочее время составит 75%, а нагрев последней заготовки — не более 40 мин. Уменьшая величину партии заготовок, можно убедиться, что наилучшее использование печи и отсутствие перегрева металла будет при поштучной загрузке и разгрузке печи ¹

¹ В этом случае рабочее время составляет 100%, если не принимать во внимание первоначальных потерь времени, которые будут лишь после остановок печи (при односменной и двухсменной работе цеха).

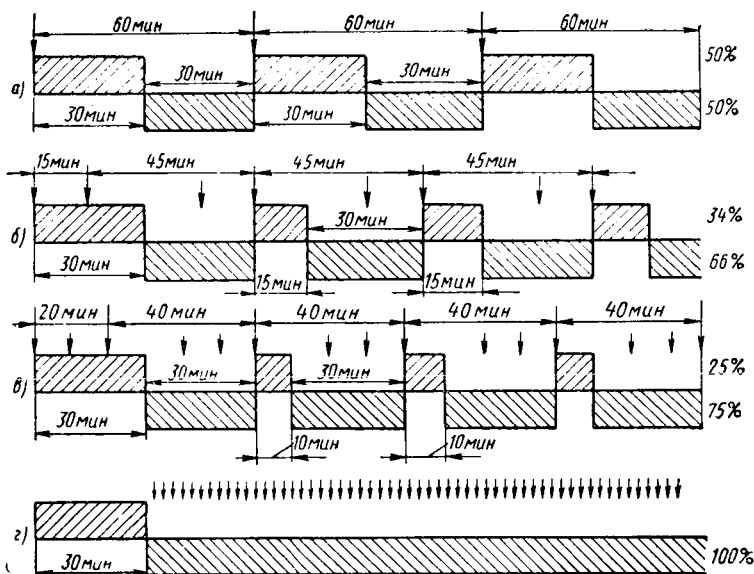


Рис. 62. График использования рабочего времени при загрузке печи партиями; периоды простоя заштрихованы с наклоном линий вправо; стрелками отмечены моменты загрузки печи

(рис. 62, г). В этом случае будет бесперебойная работа агрегата при одинаковом числе нагреваемых в печи заготовок (в данном случае 30) и одинаковом времени нагрева каждой заготовки (30 мин). По такому графику работают механизированные печи и автоматизированные установки; в камерных печах, условия поштучной загрузки часто не соблюдаются.

При согласовании производительности печи с темпом работы кузнеца или штамповщика искомой величиной является число заготовок, одновременно находящихся в печи. Для соответствующего расчета используются следующие данные. Если z — число заготовок в шт., одновременно находящихся в печи, t — продолжительность нагрева заготовки данного размера в мин, n — наибольшая производительность ковочного или штамповочного агрегата в ч (в шт.), то за 1 мин можно изготовить $\frac{n}{60}$ поковок. За время t мин, пока нагреваются заготовки, из печи должно быть выдано $\frac{tn}{60}$ заготовок. Следовательно, одновременно в печи находится

$$z = \frac{tn}{60} \text{ заготовок.} \quad (21)$$

Например, при штамповке 80 шт. поковок в час и времени нагрева заготовок 15 мин в печи должно находиться одновременно

$\frac{15 \cdot 80}{60} = 20$ заготовок. Если же ускорить нагрев заготовок, например нагревать их за 10 мин, то в печи должно находиться 14 заготовок. Следовательно, с уменьшением времени нагрева уменьшается и число заготовок, одновременно находящихся в печи. При увеличении темпа изготовления поковок с 80 до 100 шт. в час число заготовок в печи должно увеличиться с 20 до 25 шт. и т. д. Учитывая местные возможности нагрева металла, в цехах обычно составляют графики зависимости числа заготовок, находящихся в печи, от времениковки, штамповки. Принимать эти данные в качестве руководящих материалов для других производственных условий нельзя.

При нагреве крупных заготовок и слитков по 1 шт. или небольшими партиями производят аналогичные расчеты. Если известна продолжительность t нагрева в часах, то число слитков в одной или нескольких печах находится как произведение $z = nt$ (n соответствует часовой производительности молота или прессы в шт.). Размеры площади F_n пода печей, обеспечивающих необходимую производительность, определяют из следующих соотношений:

$$F_n = \frac{zf_m}{k_n} = \frac{F_{\text{акт}}}{k_n} = \frac{ntf_m}{k_n} = \frac{Qf_m}{gk_n}, \quad (22)$$

где f_m — проекция одной заготовки или слитка на под, м^2 ; Q — часовая производительность печи, кг ; g — масса одной заготовки (слитка), кг ; $F_{\text{акт}}$ — часть площади пода, занятая металлом ($f_m z$), м^2 ; k_n — коэффициент загрузки пода ($\frac{F_{\text{акт}}}{F_n}$), для камерных печей $k_n = 0,5 \div 0,6$; для методических $0,7 \div 0,9$.

По рассчитанной площади пода предусматривают одну или большее число печей. Иногда число используемых печей достигает 6—8 на один пресс, при ковке на молотах обычно применяют одну или две печи, при штамповке, как правило, бывает достаточно и одной печи. Напряженность пода печи (удельная производительность 1 м^2 печи) представляет собой отношение часовой производительности печи к площади пода печи [камерные для заготовок $400 \div 600 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, с выдвижным подом для слитков $150 \div 350 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, полуметодические $300 \div 450 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, скоростные $700 \div 1000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$].

При нагреве металла в скоростных печах контактным или индукционным способами, когда заготовки нагревают по 1 шт., время нагрева заготовки не должно превышать времени на ее штамповку. Если это условие нельзя соблюсти, то применяют последовательный нагрев двух или нескольких заготовок, одновременно находящихся в нагревателе, или нагрев заготовок в двух или нескольких нагревателях. В этих случаях расчет числа заготовок, нагреваемых одновременно, совпадает с приведенным выше [см. формулу (21)].

При штамповке от прутка на молоте, прессе и горизонтально-ковочной машине производительность агрегата повышается с увеличением числа поковок, штампуемых подряд за один нагрев прутка. Темп работы в данном случае влияет на производительность в прогрессирующей степени, а не, как обычно, в прямой пропорции.

Число поковок, штампуемых подряд с одного нагрева прутка, зависит от времени его остывания при штамповке: чем больше это время, тем большую часть нагретого прутка можно переработать в поковки до возвращения его остатка в печь. Длина нагреваемой части прутка должна быть согласована с временем остывания. Если нагреть большую длину прутка, чем это необходимо, то прутки остынут в излишне нагретой части, прежде чем этот участок металла поступит на штамповку.

Число поковок, штампуемых за один нагрев прутка,

$$N = \frac{t_0 - t_n}{t_m}, \quad (23)$$

где t_0 — время остывания прутка данного диаметра в допустимом интервале температур для данной стали; t_n — промежуток времени между извлечением прутка из печи и началом штамповки; t_m — время штамповки одной поковки.

Приведенная зависимость показывает, что число N поковок, штампуемых за один нагрев, зависит от химического состава стали и диаметра прутка (которые определяют величину t_0), а также от сложности технологического процесса (который в зависимости от способа штамповки и числа ручьев определяет величину t_m) и совершенства организации рабочего места. При непрерывной механизированной или автоматической подаче заготовок t_n определяется временем извлечения прутка из печи, подноски, установки его в штамп и потерями времени на включение штамповочной машины.

При штамповке от прутков различных диаметров на машинах-орудиях одинаковой быстроходности и с одинаковым числом ручьев в штампе число штампованных с одного нагрева изделий зависит от времени остывания прутков. Чем толще прутки, тем медленнее он остывает и тем больше поковок можно отштамповать. При данном темпе работы между величиной N , длиной заготовок L_0 (частью прутка, приходящейся на одну поковку) и оптимальной длиной прутка L_n , участвующей в деформации за один нагрев, действительно зависимость

$$L_n = NL_0. \quad (24)$$

Пользуясь соотношением масс, можно заключить, что

$$L_n = \frac{Ng}{q}, \quad (24')$$

где L_n — оптимальная длина нагреваемой части прутка; q — масса 1 м прутка данного диаметра; g — масса заготовки L_0 на одну поковку.

По этой формуле можно определить длину нагреваемой части прутка, необходимую для получения оптимальных условий штамповки поковок данной массы.

На практике число штампуемых поковок за один нагрев колеблется в некоторых пределах и достигает 20—25 (например, на подшипниковых заводах), что зависит от начальной и конечной температур штамповки, замедленного или усиленного темпа работы штамповщика и длины нагреваемого конца прутка в пределах, определяемых по формуле (24).

Число прутков, находящихся одновременно в печи,

$$z = \frac{T}{t_n + Nt_m + t_k}, \quad (25)$$

где T — время подогрева при штамповке с возвращением прутков в печь или время нагрева при штамповке без возвращения прутков в печь; t_n — начальные потери времени (установка в ручей и промежуток времени между нажатием педали и штамповкой); N — число поковок (штампуемых с одного нагрева), взятое по максимуму; t_m — время штамповки (машинное и ручное по перекладке из ручья в ручей); t_k — время, связанное с извлечением и удалением остатка прутка из штампа.

Полученное при расчете число прутковых заготовок, нагреваемых одновременно в печи, исходя из условия согласованной производительности печи и штамповочной машины, может быть использовано для определения площади пода печи по числу и габаритным размерам прутковых заготовок с учетом способа их укладки.

Штамповка каждой поковки от прутка при все более низкой температуре приводит к неодинаковым усилиям, точности размеров поковок (в результате различной тепловой усадки и упругой деформации деталей машины) и структуре металла. Для устранения перечисленных недостатков целесообразно применять градиентный нагрев прутка по длине. Конец прутка, с которого начинают штамповку, нагревают до более низких температур, чем температура остальной его части. При градиентном нагреве обеспечивают тепловой режим штамповки от прутка, близкий к изотермическому, поскольку, чем выше нагретый участок прутка, тем позже он поступает в полость штампа. Удастся штамповать точные по размеру поковки при оптимальной для структуры данного металла температуре (в интервале 30—50° вместо 300—400° С).

Число поковок $N_{гр}$, которое можно штамповать подряд при градиентном нагреве,

$$N_{гр} = \frac{t_{max} - t_0}{t_m}, \quad (23')$$

где $t_{\max}$ — время остывания металла от наивысшей допустимой температуры до принятой оптимальной по условиям его качества.

Длина нагреваемой части прутка

$$L_n = N_{\text{гр}} L_0. \quad (24'')$$

На этой длине обеспечивается плавное повышение температуры от оптимальной на конце прутка до предельно допустимой в конце нагреваемого участка прутка.

При выборе типа установки для нагрева металла руководствуются различными соображениями, главными из которых являются способ штамповки, химический состав нагреваемой стали, масштаб производства поковок и условия труда. Механизированные сложные печи рентабельны в крупносерийном производстве, при большом парке этих печей эксплуатация их не вызывает особых затруднений. В мелкосерийном производстве частые переналадки технологического процесса штамповки и неизбежные изменения темпа работы требуют применения менее совершенных универсальных печей.

Экономичность работы печи в процессе ее работы связана с напряженностью пода. Чем выше напряженность пода, тем меньше удельный расход топлива. Для методических печей увеличение напряженности пода печи означает перевод их на полуметодический режим работы, осуществляемый повышением температуры в камере подогрева. В таком режиме работают печи большинства отечественных кузнечно-штамповочных цехов.

КОВКА СЛИТКОВ, БОЛВАНОВ И ПРУТКОВЫХ ЗАГОТОВОК

(технология мелкосерийного производства поковок)

1. Общие сведения о кузнечном производстве

В простейшем представлении ковка является процессом металлообработки давлением с использованием универсальных инструментов и оборудования возвратно-поступательного периодического действия. Ковка — сложный процесс, поскольку обычно состоит из ряда последовательно чередующихся самостоятельных операций, в общем случае сопровождающихся продольными перемещениями и поворотами заготовки вокруг оси. Разнообразные и многочисленные операцииковки позволяют получать поковки различных простых и сложных форм, номенклатура которых исчисляется десятками тысяч наименований.

Технологияковки обладает рядом значительных достоинств, благодаря которым этот процесс на протяжении многих веков остается в числе передовых. Непрерывное развитие процессовковки обеспечивает им надежное место среди других видов металлообработки.

Главное преимуществоковки состоит в непревзойденной и единственной возможности обрабатывать давлением крупные слитки стали, масса которых исчисляется десятками и сотнями тонн. Не меньшее по значимости преимуществоковки состоит в возможности не только придавать ковке заданную форму и улучшать структуру и механические свойства обрабатываемого металла, но и исправлять (целиком или в большой мере) дефекты литого металла. Это особенно важно для крупных слитков, которые отличаются большим количеством пузырей, плен и других несплошностей, а также повышенной зональной ликвацией. К числу важнейших достоинствковки относится повышенная турбулентность деформации, которая обеспечивает разрушение литой (дендритной) структуры при обжатиях, в несколько раз меньших, чем при прокатке, прессовании и других процессах, отличающихся ламинарным характером деформации.

Только ковкой изготавливают крупные поковки для роторов и дисков турбин, котлов высокого давления, оружейных стволов, колонн гидравлических прессов, валков блюмингов и другие крупногабаритные, тяжелые поковки ответственного назначения,

детали из которых работают при динамическом знакопеременном и т. п. сложном нагружении.

Посколькуковка является древнейшим способом обработки металлов, ее иногда неправильно считают примитивным и отжи- вающим свой век процессом. Ковку не следует применять для крупносерийного и массового производства относительно неболь- ших поковок. Однако для индивидуального и в отдельных случаях для мелкосерийного производства поковок небольших габарит- ных размеров процессыковки являются вполне совершенными. Если удастся укрупнить серийность производства (например, путем кооперирования), то целесообразна специализация инстру- мента, например, применение штампов (подкладных или закреп- ленных). Промышленность всегда будет нуждаться в поковках, потребляемых в небольших количествах и изготавливаемых ковкой. К ним относятся поковки для судостроения, для некоторых видов крупных транспортных машин, кузнечно-прессового машино- строения, станков и запасных частей к различным машинам и т. п.

Таким образом, кроме небольших поковок мелких серий, категорию поковок, для которых оптимальным способом про- изводства являетсяковка, составляют поковки, масса которых превышает наибольшую массу штампуемых поковок в данный период времени. По мере совершенствования штамповочного производства предельная масса этих поковок увеличивается, однако для более тяжелых поковок применима толькоковка. Это обстоятельство обеспечивает рациональностьковки и при больших сериях крупных поковок. Сюда относится массовое производство железнодорожных осей, серийное производство барабанов и резервуаров, коленчатых валов и некоторых других поковок. Однако более типичным дляковки является производство поковок небольшой серийности.

В качестве универсальных машин-орудий дляковки приме- няют прессы и молоты. На прессах коуют преимущественно круп- ные слитки, а на молотах мелкие слитки и катаные профили (болванки и прутки). Кованые поковки отличаются высоким ка- чеством металла, но имеют только приближенную к деталям форму при относительно низком коэффициенте использования металла, и невысокой по сравнению со штамповкой производительностью труда.

Совершенствование процессовковки основывается на исполь- зовании более быстроходного оборудования, применении облег- чающих и ускоряющих вспомогательные операции механизмов (манипуляторов, кантователей, поворотных столов, подающих рук и т. п.), а также на разработке конструкций более совершен- ного кузнечного инструмента и точном регулировании величины обжатия заготовок. Указанные усовершенствования позволяют увеличить производительность, снизить себестоимость поковок, повысить их точность и облегчить труд кузнецов. Последователь- ность этапов технологического процессаковки дана на рис. 63.

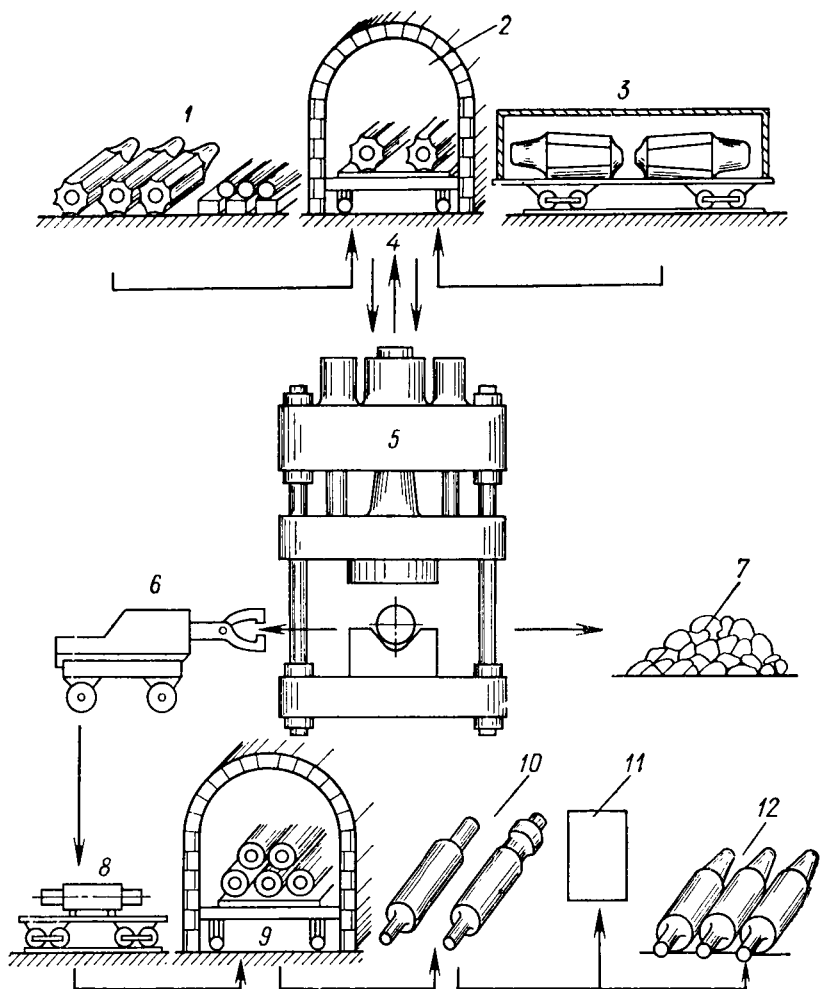


Рис. 63. Последовательность этапов технологического процессаковки слитков; 1 — склад исходного металла; 2 — нагрев и подогрев слитков; 3 — платформа с термосом и слитками горячего посада внутри; 4 — нагревательная печь; 5 — ковочный пресс; 6 — манипулятор; 7 — отходы металла; 8 — транспортировочная платформа; 9 — термическая печь; 10 — ОТК; 11 — лаборатория; 12 — склад поковок

Процессковки состоит из нескольких этапов: нагрева металла; совершения кузнечных операций (как правило, на одном прессе или молоте); первичной термической обработки поковки (отжиг, нормализация и т. п.); контроля качества поковки. Для поковки простой формы число кузнечных операций невелико и процессковки совершается после одного нагрева заготовки (за один вынос из печи). Более сложные поковки требуют увеличенного числа

операций, среди которых одноименные могут повторяться два и более раз. В случаях многооперационнойковки полуфабрикат поковки поступает в печь на подогрев (один или более раз, в зависимости от сложности поковки), и таким образом куют при нескольких выносах металла из печи.

Операцииковки можно подразделить на предварительные, основные, вспомогательные и отделочные. Перечень их с указанием назначения приведен в табл. 18, в которую включены схемы наиболее распространенных кузнечных операций. Более подробная характеристика кузнечных операций приводится в следующем разделе.

Формы поковок, изготавливаемых ковкой, очень разнообразны (рис. 64). Поковки подразделены на девять групп по возрастающей сложности их изготовления. Наиболее простыми являются поковки постоянного профиля, получаемые протяжкой (группа I), осадкой и протяжкой поковок переменного профиля (группа II).

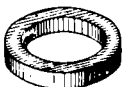
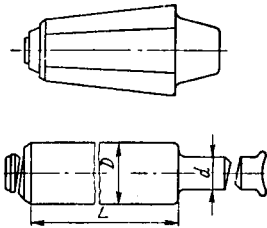
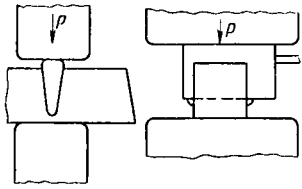
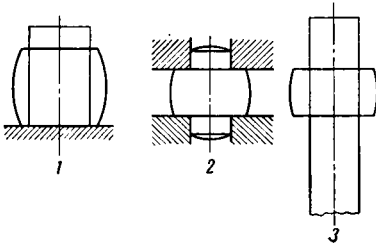
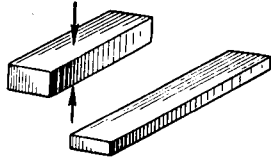
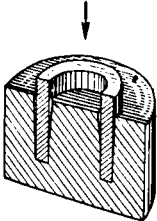
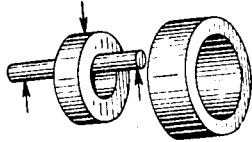
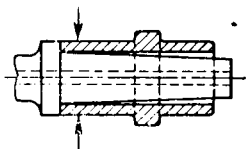
Группа сложности поковки			
I	III	IV	V
			
II			
			
			
			
VI	VII	VIII	IX
			
			
			
			

Рис. 64. Кованые поковки, подразделенные на группы по возрастающей сложности изготовления (по С. Н. Хржановскому)

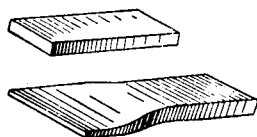
Ковка слитков и заготовок

Операции	
<i>1. Предварительные</i>  Билетировка. Превращение слитка в заготовку (сбивка ребер и устранение конусности)	 Отрубка, разрубка. Разделение слитка, заготовки или поковки на части топором
<i>II. Основные</i>  Осадка (1), осадка в кольцах (2) и высадка (3). Увеличение поперечных размеров и уменьшение высоты заготовки (осадка) или ее части (высадка); образование выступов вдоль оси заготовки (осадка в кольцах)	 Протяжка. Увеличение длины заготовки или ее части за счет уменьшения ее сечения. Операция состоит из ряда смежных обжатий вдоль оси заготовки
 Прошивка, пробивка. Образование полости в заготовке или поковке. Осуществляется сплошным или полым прошивнем	 Раскатка. Увеличение внешнего и внутреннего диаметров кольцевой заготовки обжатиями между верхним бойком и оправкой, установленной на козлах

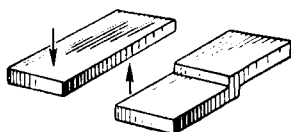
Операции



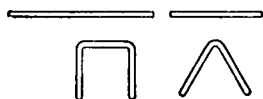
Протяжка на оправке. Увеличение длины проштампованной заготовки за счет ее обжатия по обе стороны оправки двумя бойками



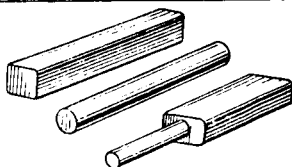
Рачгонка. Увеличение ширины части заготовки за счет смежных обжатий поперек ее оси с уменьшением толщины заготовки



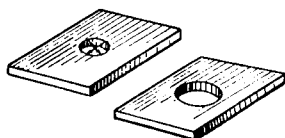
Передача. Смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки



Гибка заготовки или поковки. Образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы

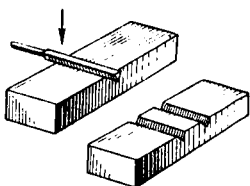


Радиальное обжатие. Уменьшение площади поперечного сечения заготовки, периодически перемещающейся в радиальном направлении бойками при относительном вращении заготовки или инструмента



Раздача отверстий. Увеличение периметра поперечного сечения полый заготовки

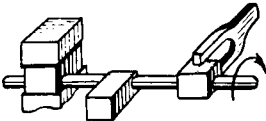
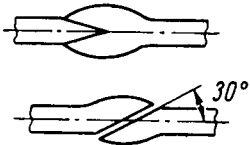
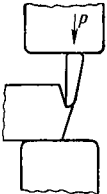
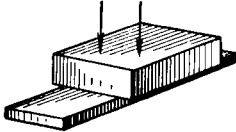
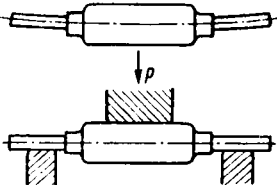
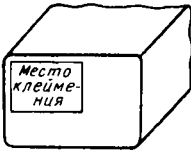
III. Вспомогательные



Надрубка. Ввод деформирующего инструмента (топора) на неполную толщину заготовки для образования уступов, выступов, выемок



Сбивка углов. Предотвращение вредного влияния остывания ребер заготовки. Применяется при ковке высоколегированной стали

Операции	
 Скручивание. Поворот части заготовки или поковки вокруг продольной оси	 Сварка кузнечная. Соединение частей заготовок. Применяется при ковке под молотами.
<i>IV. Отделочные</i>	
 Обрезка. Устранение заусенца и т. п. путем сдвига	 Проглаживание. Устранение неровностей поверхностей у плоской или круглой поковки путем пластического деформирования
 Правка. Устранение непредусмотренной кривизны поковки	 Клеймение. Нанесение знаков марки стали, номера плавки, шифра, поковки и т. п.

Более сложными являются поковки с прошитым отверстием, а также в виде всесторонне прокованных кубиков, костылей, рычагов с головками и изогнутых поволоков простого профиля (группа III). Еще более сложны поковки, изготавливаемые прошивкой с последующей протяжкой на оправке, валы ступенчатые, пластины с выступами и изогнутые поковки, оформляемые в подкладных штампах (группа IV). В следующую по сложности группу входят поковки, прошитые и раскатанные, валки с низкими фланцами и рычаги с двусторонними бобышками (группа V). В остальные группы (группы VI—IX) вошли сложные рычаги, валы и другие поковки, требующие при выполнении комплекса операций формовочного инструмента и специальных приспособлений.

2. Кузнечные операции и применяемый инструмент

Схемы кузнечных операций одинаковы дляковки относительно небольших поковок (массой до нескольких сот килограммов), изготавливаемых на молотах, и для более крупных поковок, изготавливаемых на прессах.

Как известно из теоретических курсов, величина нормальной деформации по трем осям оценивается относительными показателями вида

$$\epsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0}, \quad \epsilon_{0L} = \frac{L_K - L_0}{L_K}, \quad \epsilon_{0B} = \frac{B_K - B_0}{B_K},$$

где H , L и B — высота, длина и ширина заготовки, причем 0 и к исходный и окончательный размеры заготовки после очередной операции или в концековки.

В некоторых случаях более удобны показатели вида:

$$\epsilon_{KH} = \frac{H_0 - H_K}{H_K}, \quad \epsilon_{KL} = \frac{L_K - L_0}{L_0}, \quad \epsilon_{KB} = \frac{B_K - B_0}{B_0}.$$

В кузнечном производстве распространена оценка нормальных деформаций коэффициентами: $K_H = \frac{H_0}{H_K}$ по высоте; $K_L = \frac{L_K}{L_0}$ по длине и $K_B = \frac{B_K}{B_0}$ по ширине. Второй из приведенных коэффициентов $K_L = \frac{L_K}{L_0} = \frac{F_0}{F_K}$ обычно называется коэффициентом уковки; с помощью этого коэффициента рассчитывают операцию протяжки; коэффициенты K_H и K_B используют для расчета операции осадки и разгонки.

Для расчетов деформаций при ковке могут быть использованы также логарифмические коэффициенты деформации:

$$\epsilon_H = \ln \frac{H_0}{H_K} = \ln K_H, \quad \epsilon_L = \ln \frac{L_K}{L_0} = \ln K_L \quad \text{и} \quad \epsilon_B = \ln \frac{B_K}{B_0} = \ln K_B.$$

Биллетировка слитков (см. табл. 18). Эта операция относится к предварительным и предназначена для превращения слитка в болванку или заготовку. Операции, совершаемые одновременно с биллетировкой, являются предварительными. Перед биллетировкой у слитка оттягивают хвостовик, который необходим для перемещения и вращения слитка в процессековки с помощью манипулятора или в его отсутствие — кантователя и специального патрона с противовесом, надеваемого на хвостовик.¹ Обычно в хвостовик оттягивают прибыльную часть слитка, идущую в отход, затем его отрубают. При ковке небольших слитков (преиму-

¹ Манипуляторы, кантователи и другие средства механизации подробно рассмотрены в курсе «Механизация и автоматизация кузнечно-штамповочного производства».

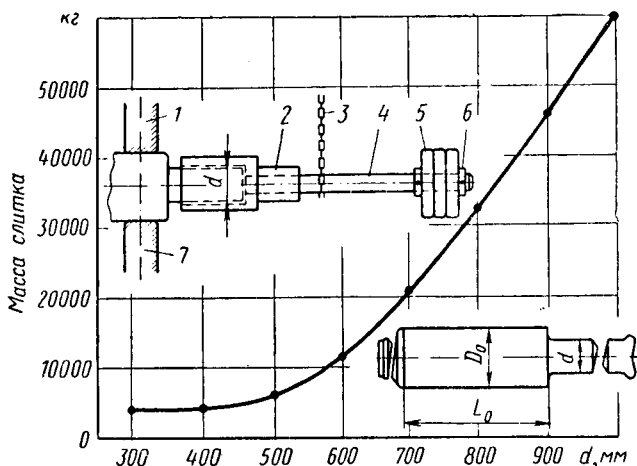


Рис. 65. Определение диаметра хвостовика под патрон (по М. Г. Златкину):

1 и 7 — бойки; 2 — головка патрона; 3 — цепь крана; 4 — ствол; 5 — противовесы; 6 — крепежные кольца

шественно на молотах) используются клещи, подвешиваемые, как и кантователи, к мостовым или поворотным кранам.

Правильный расчет размеров круглого или квадратного хвостовика исключает его изгиб в наименее выгодных условиях, т. е. когда центр тяжести заготовки наиболее удален от края захватных клещей или патрона в процессе ковки. Длина патрона и соответствующая масса грузов взаимно обусловлены размерами слитка; диаметр хвостовика можно подобрать исходя из практики (рис. 65). Длину хвостовика принимают равной полутора его диаметрам, диаметр патрона в месте захвата слитка должен быть немного меньше расстояния между бойками при ковке участка поковки, примыкающего к хвостовику, тогда исключается опасность обжатия патрона при ковке.

Незначительная проковка слитка ($K_L = 1,05 \div 1,2$) при биллетировке необходима для обжатия металла в углах слитка с целью предварительного деформирования литой структуры — дендритов, которые имеют стыки в этих углах. При этом металл поверхностного слоя становится более пластичным и менее подвержен поверхностным дефектам при дальнейшей ковке.

После биллетировки отрубают донную часть слитка. Сбиллетированный слиток с размерами L_0 , D_0 и d хвостовика, а также отходы от слитка показаны на рис. 65 (внизу). Биллетировку и описанные операции осуществляют с одного нагрева. Для биллетировки слитков массой свыше 150 т применяют вырезные бойки, а для меньших слитков — комбинированные бойки — верхний плоский и нижний вырезной (см. рис. 88). Откованная болванка

поступает в печь на подогрев, а отходы — на переплав. Если ковке подвергают легированный металл, то отходы клеймят маркой сплава для использования по назначению.

Полость поковки можно использовать для манипулирования заготовкой, а хвостовик не оттягивать. В этом случае патрон не надевается, а вставляется в заготовку.

С точки зрения проковки металла операция биллетировки является наименее производительной и для ее выполнения обычно необходим самостоятельный нагрев слитка. Принято считать, что биллетировка слитков способствует заварке воздушных пузырей и других подкорковых дефектов литой структуры, созданию пластичного поверхностного слоя металла, благоприятно влияющего на дальнейшее протеканиековки.

Биллетировка, проводимая при высокой температуре, соответствующей большой скорости рекристаллизации металла, ведется малыми обжатиями, при которых зерно успевает вырасти до больших размеров, что и вызывает в некоторых случаях промежуточную термическую обработку. Кроме того, если при биллетировке обжимаются только ребра слитка, то между ними остаются полосы недеформированного металла. Опыт отечественной промышленности позволяет в некоторых случаях при надлежащем качестве металла отказаться от биллетировки слитков, если это не ухудшает качества поковок. Устранение биллетировки приводит к увеличению производительности на 10—15%. Однако крупные слитки и слитки высоколегированной стали куют с биллетировкой.

При хорошем качестве слитков осадка даже несбиллетированных слитков не сопровождается трещинообразованием на их боковой поверхности, так как до деформации, равной 20—25%, не происходит увеличения периметра (например, при переходе от восьмигранника с вогнутыми гранями к кругу). Это означает отсутствие опасных растягивающих деформаций в периферийном слое осаживаемого слитка. Конусность слитков приводит к тому, что при осадке без биллетировки у заготовок отсутствует симметрия относительно среднего поперечного сечения. Однако этот недостаток может быть устранен при боковом обжатии заготовок. На некоторых отечественных заводах осадку слитков без биллетировки применяют, например, при изготовлении штамповых кубиков по групповой технологии на прессах усилием 15 и 30 МН.

Опробована биллетировка слитков, подстуженных с поверхности и имеющих высокую температуру осевой и дефектной областей (см. рис. 49). Этот процесс можно выполнять и с использованием теплоты отливки слитков. Биллетировка с незначительной степенью деформации (6—8%) позволяет устранить огранку слитка и одновременно закрыть и заварить его внутренние пустоты. Опасность значительного роста зерна при попадании деформаций в критическую область рекристаллизации не страшна, так как ковка только начинается и в дальнейшем зерно измельчается.

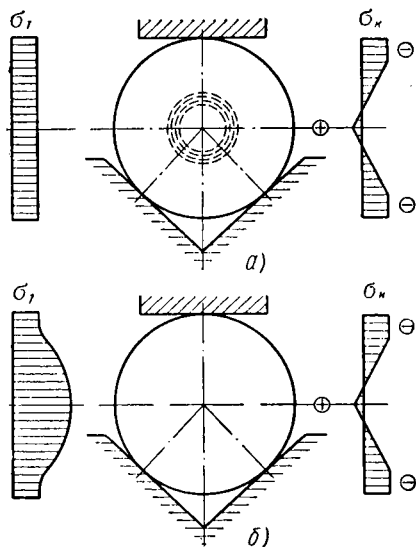


Рис. 66. Распределение сопротивления деформации σ_1 и осевых напряжений σ_n при биллетировке равномерно (а) и форсированно (б) нагретых слитков (по В. А. Тюрину)

Биллетировка равномерно нагретого слитка с одинаковым сопротивлением деформации по любому сечению происходит в неблагоприятных условиях для внутренних слоев (рис. 66, а). Ковка с малыми подачами и обжатиями, типичными для биллетировки, сопровождается появлением растягивающих напряжений в осевой области даже при ковке в комбинированных бойках. Для ряда сплавов, которые особенно чув-

ствительны к растягивающим напряжениям, необходимы режимы, обеспечивающие большее сопротивление деформации и меньшие напряжения в осевой области слитков. Форсированный нагрев (в допустимых пределах) без выдержки в печи, выравнивающей температуру по сечению слитка, обеспечивает биллетировку в благоприятных условиях (рис. 66, б). Этот процесс внедрен в производство.

Новым приемом является также биллетировка с образованием вогнутой поверхности по всему слитку (см. рис. 69) или на его части, на которой необходимо сосредоточить деформацию. Последующая осадка таких слитков не вызывает бочкообразования, что позволяет устранить длительную операцию обкатки заготовки с целью обеспечения цилиндричности формы поковки.

Разрубка (отрубка) заготовок (см. табл. 18). Эта операция является обычно предварительной, ее применяют для отделения от слитка негодных частей (прибыльной и донной) или разделения заготовки на части (при изготовлении из одной заготовки двух или нескольких поковок). Разрубка может быть промежуточной операцией, например, при отделении годной части заготовки от поковки (если масса сбиллетированного слитка превышает расчетную массу заготовки). Эта операция не отличается большой точностью и техническим совершенством.

Неровности, получающиеся по месту разделения металла, больше, чем при резке металла. Разрубка удлиняет процесс производства поковок и уменьшает возможное время ковки. Применение разрубки на основном кузнечном оборудовании допустимо лишь потому, что процессы ковки в большинстве случаев отно-

ются к мелкосерийному производству поковок, в которых применяют универсальное оборудование. В качестве инструмента, также универсального, применяют топоры. Разрубают различными способами в зависимости от вида и габаритных размеров заготовки (рис. 67).

Схема разубки (рис. 67, а) основана на действии силы P на малую площадь соприкосновения топора с заготовкой. Реакция этой силы со стороны нижнего бойка распределена на такой большой поверхности заготовки, что пластическая деформация здесь не возникает.

Способ разубки с отсечкой квадратом (рис. 67, б) применяют для разделения на части прутков и небольших болванок на молотах. Топор устанавливают на нужный размер заготовки и с помощью верхнего бойка погружают в тело заготовки, не доводя его до противоположной грани заготовки на величину, равную одной-двум толщинам рабочей кромки топора (поз. 1). Затем

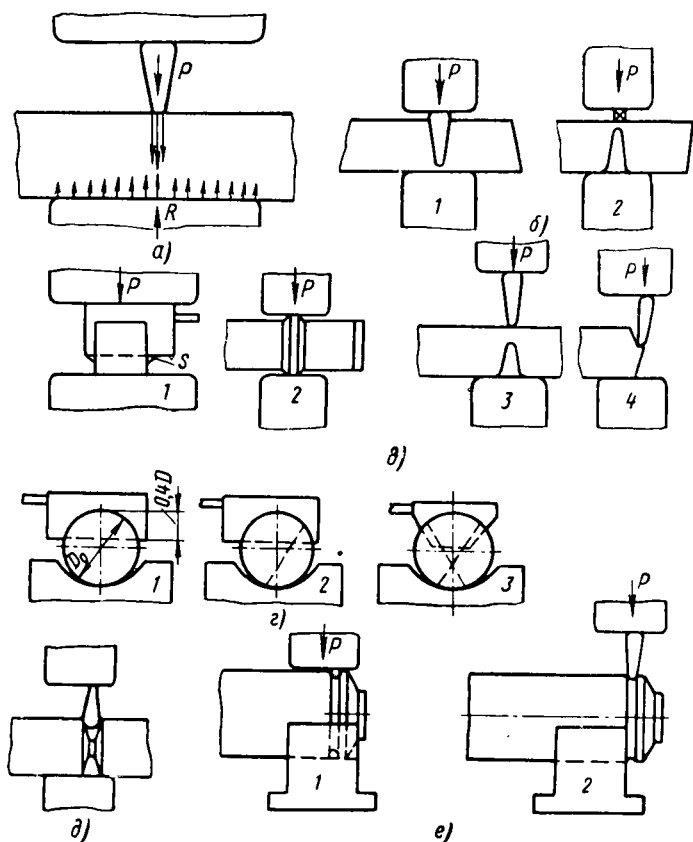


Рис. 67. Схемы разубки металла

гопор удаляют, заготовку кантуют на 180° и просекают образованную топором перемышку инструментом, называемым квадратом (поз. 2). Размер стороны квадрата превышает ширину перемышки в 1,5—2 раза. Отсеченная двумя ребрами квадрата перемышка представляет собой отход металла.

Заготовки небольшого размера, в частности прямоугольного сечения, можно разрубить, применяя два смежно расположенных инструмента в виде квадратов, причем один из них находится на нижнем бойке, на него помещают заготовку, на которую устанавливают смежно по отношению к первому второй квадрат и ударяют по нему. Этот способ имитирует резку заготовок ножами.

Разрубку с двух сторон (рис. 67, в) применяют для более крупных заготовок, если высота топора оказывается недостаточной даже при увеличении ее за счет накладывания на топор квадрата в последний момент рубки. Более высокий топор при разрубке с двух сторон внедряют на $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ высоты заготовки, при этом по обе ее стороны образуются наплывы металла (*S* на поз. 1). После кантовки на 90° эти наплавы сглаживают ударом бойка (поз. 2), затем при следующей кантовке на 90° накладывают топор для окончательной разрубки (поз. 3). Вследствие неточности установки топора на торце заготовки обычно образуется заусенец, удаляемый заостренным топором-зубилом (поз. 4).

Разрубку с трех сторон (рис. 67, г) применяют для круглых и крупных заготовок на прессах. Во избежание смятия заготовки нижним бойком из-за сосредоточения действующей силы на малой поверхности заготовки применяют нижний вырезной боек, который обеспечивает увеличенную поверхность соприкосновения бойка с круглой заготовкой. После внедрения топора примерно на $0,4D_0$ (поз. 1) заготовку кантуют на 120° и вновь надрубают на ту же глубину (поз. 2). После второй кантовки на 120° заготовку окончательно разрубают (поз. 3) с помощью трапецидального топора со срезанными углами по избежание их повреждения при соприкосновении с вогнутой поверхностью вырезного бойка.

Крупные заготовки разрубают с четырех сторон топорами относительно небольшой высоты. После этого в середине заготовки остается перемышка прямоугольного сечения, по месту которой разделяют заготовку на части квадратом или опорной стороной высокого топора (рис. 67, д). При необходимости отделения от заготовки участка незначительной длины (например, дошной части у слитка) перед разрубкой производят наметку круглым прутком по круговому периметру (рис. 67, е, поз. 1). Борта образованной выемки направляют топор и устраняют возможность отклонения его от диаметрального сечения заготовки. При разрубке слитков этим способом на прессах с подвижным столом слиток находится в вырезном нижнем бойке, который сдвинут относительно верхнего (поз. 2). При этом разрубка может быть осуществлена с одной, двух и трех сторон. На рис. 68, а показано

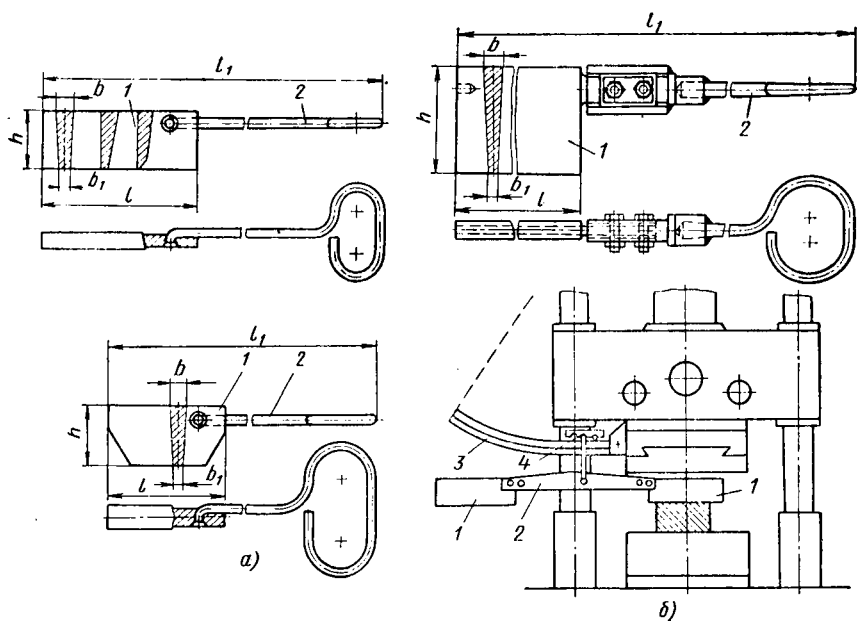


Рис. 68. Инструмент для разрубки

конструктивное решение, позволяющее осуществлять разрубку обычным топором в вырезных бойках.

В зависимости от способа разрубки торцы заготовок искажаются, что усложняет вертикальную установку заготовок при последующей осадке.

На рис. 68 показаны применяемые для разрубки топоры. На верхней позиции рис. 68, а видны профили топоров 1 (с двусторонним и односторонним уклонами, а также заостренной рабочей кромкой), закрепленных на державке 2. На нижней позиции показан профиль трапециевидального топора с двусторонним уклоном. Размеры b и b_1 самых крупных топоров достигают 80 и 40 мм при высоте $h = 700$ мм и длинах $l = 1250$ мм и $l_1 \sim 7000$ мм (масса 170 кг). Для изготовления топоров не обязательно использовать во всех случаях легированную сталь, при разрубке небольших заготовок из углеродистой стали можно применять аналогичные стали, при этом необходима их термическая обработка во избежание быстрого оплывания кромок и выхода топора из строя. Для разрубки легированной стали топоры изготавливают из инструментальной стали, например 5ХНВ (НВ 363—415), или наплавляют рабочую кромку твердым сплавом. Для разрубки очень крупных слитков используют топоры больших габаритных размеров и массы, в связи с чем получила применение механизированная установка топора с подвеской 4 на качающемся роль-

ганге 3 (рис. 68, б, нижняя позиция). Для подачи топоров и другого инструмента применяют специальные инструментальные манипуляторы.

Осадка (см. табл. 18). Осадкой называется технологическая операция, при которой увеличивается сечение заготовки, перпендикулярное к действующей силе, и уменьшается размер по высоте (вдоль этой силы). Это единственная кузнечная операция, при которой рабочий инструмент полностью перекрывает заготовку и деформация происходит без внешних зон (жестких концов). При ковке осадку применяют как основную операцию для получения формы поковки (например, при ковке дисков) и как дополнительную для увеличения общей степени деформации металла или упрощения последующих технологических операций. Например, для уменьшения глубины прошивки заготовки ее предварительно подвергают осадке. Если в процессековки коэффициент уковки невелик и не удастся ликвидировать литую структуру металла, то осадку обычно вводят как промежуточную операцию. Иногда осадку вводят в технологический процесс для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали. Известно, что на растяжение и изгиб волокно работает лучше в продольном, а на срез — в поперечном направлениях. Осадкой можно обеспечить радиальное расположение волокон, поэтому ее применение повышает прочность таких деталей, как, например, шестерни. Осадка может быть применена для устранения анизотропности металла. Например, при всесторонней осадке штамповых кубиков волокна теряют преимущественную ориентацию и металл обладает примерно одинаковыми механическими свойствами по всем направлениям.

На практике наиболее часто применяют однократную и реже двукратную осадку. Величина осадки обычно не превышает $K_H = 2$ ($\epsilon_{0H} = 50\%$). Поскольку $K_H = K_L K_B$ (на основании постоянства объема при деформации) или при осадке круглой заготовки $K_H = K_R^2$ (K_R — радиальная деформация), то деформация высотного обжатия больше радиальной деформации (без учета знака деформации) в $\sqrt{K_R}$ раз. В логарифмических показателях $\ln K_H = 2 \ln K_R$ или $\epsilon_H = 2\epsilon_R$, т. е. высотная деформация в 2 раза больше радиальной. Из теории известно равенство радиальной и тангенциальной деформаций (обе положительны по знаку), что позволяет количественно оценить технологическую пластичность металла по образованию первой трещины на боковой поверхности осаживаемой заготовки. Вскрытие дефектов на этой поверхности позволяет рассматривать эту операцию и как контрольную.

Во избежание потери устойчивости и появления продольного изгиба осадке в цеховых условиях подвергают заготовки высотой $H_0 \leq 2,5D_0$. Заготовки с большей высотой ($H_0 = (4 \div 5) D_0$) могут быть осажены с помощью специальных приемов (небольшими обжатиями и с частой кантовкой для выпрямления изогну-

той заготовки), при этом производительность операции очень небольшая, и она теряет промышленное значение.

В общем случае при осадке предельно высокой заготовки операция протекает в три стадии. В первой стадии при $\frac{D}{H} < 0,4 \div 0,5$ осадка происходит с двойным бочкообразованием, при этом чем больше величина контактных сил трения, тем резче бочкообразование и тем раньше происходит слияние двух самостоятельных бочкообразований в общее. Это объясняется тем, что при значительных силах трения зоны затрудненной деформации имеют большие объем и высоту купола.

Вторая стадия осадки происходит при непрерывном сближении зон затрудненной деформации до момента их взаимодействия при $\frac{D}{H} \leq 2 \div 4$ (чем больше силы трения, тем меньше D/H).

На первой и второй стадиях осадки высота и диаметр зоны затрудненной деформации увеличиваются вследствие увеличения площади контакта. Усилие на этих стадиях тем меньше, чем больше контактные силы трения, т. е. чем больше объем и высота купола зоны затрудненной деформации.

На третьей стадии осадки ($\frac{D}{H} > 2 \div 4$) высота зон затрудненной деформации вследствие их взаимодействия уменьшается (высота этих зон всегда меньше $\frac{H}{2}$), это сопровождается резким повышением усилия, необходимого для осадки. Причем в противоположность предыдущим стадиям, чем больше силы трения, тем выше расположена соответствующая часть кривой усилия осадки. В пределах указанных геометрических соотношений переход от одной стадии к другой зависит от контактных сил трения. Чем они больше, тем при меньших величинах $\frac{D}{H}$ наступает следующая стадия осадки.

Для того чтобы после осадки заготовка 1, отрубленная топором и имеющая скосы на торце, была симметричной, приходится ее поддерживать при первом обжатии (рис. 69, а).

Однако это удается при ковке на молотах только заготовок относительно небольших габаритных размеров. Слитки осаживают плоскими бойками, например, перед операцией прошивки при изготовлении поковок с отверстиями. Наиболее распространена осадка слитков 2, имеющих оттянутый хвостовик (рис. 69, б), который при этой операции находится в отверстии нижней плиты и центрирует заготовку. Осадочные плиты имеют вогнутость, которая способствует повышению устойчивости заготовки в процессе осадки, но увеличивает бочкообразование и соответственно неравномерность деформации. Как видно из рис. 69, б, горизонтальная составляющая P_x нормальной силы направлена в ту же сторону, что и сила трения T (P_z — вертикальная составляющая).

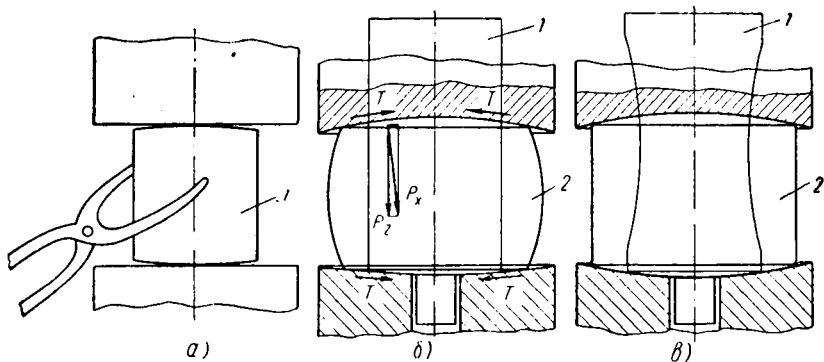


Рис. 69. Схемы осадки мерных заготовок (а) и слитков, билетированных в цилиндрическую болванку (б) или в болванку с вогнутой образующей (в)

Считается, что при такой схеме напряжений (ярко выраженное трехосное сжатие) пластичность металла в средней части заготовки повышается, однако наряду с этим увеличивается опасность возникновения наружных продольных трещин посередине образующей (в зоне наибольшего бочкообразования).

Описанная выше билетировка слитков на болванку с вогнутой боковой поверхностью (рис. 69, в) позволяет получить после осадки заготовку правильной цилиндрической формы без бочкообразования. Примерную форму вогнутости заготовки при билетировке можно определить, используя приводимые ниже данные о закономерности бочкообразования при осадке.

Так как бочкообразование до недавнего времени нельзя было рассчитать, наличие его приводило либо к уменьшению производительности при дополнительной обкатке по боковой поверхности, либо к повышенному расходу металла, поскольку объем металла, идущий на бочкообразование, не учитывался.

В последнее время появилась возможность рассчитывать и учитывать бочкообразование на основе заданных размеров бочкообразных поковок D_T и H_K (рис. 70). По этим размерам рассчитывают объем цилиндрической части поковки V_0 .

Далее выбирают предварительные размеры заготовки D'_0 и H'_0 (рис. 70, а) при условии $H'_0 \leq 2,5D'_0$, причем значение D'_0 выбирают несколько меньшим, чем D_0 . Затем определяют примерную степень деформации $\epsilon'_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0} 100\%$. По графику (рис. 70, б) можно определить относительную величину объема металла, идущего на бочкообразование $\left(\theta = \frac{V_\theta}{V} 100\%\right)$ по известным величинам ϵ'_{0H} и $\frac{D'_0}{H'_0}$ и предварительно рассчитать объем поковки $V' = \frac{100V}{100 - \theta}$.

По V' рассчитывают предварительный объем заготовки $V'_{\text{заг}}$ с учетом угара, обсечек и других отходов металла. Окончательные размеры заготовки D_0 и H_0 подбирают исходя из того, что отношение $\frac{D_0}{H_0}$ должно быть равно или больше $\frac{D'_0}{H'_0}$. Если при этом ϵ_{0H} изменяется так, что вызывает уменьшение θ , то размеры заготовки не пересчитывают, т. е. принимают $V'_{\text{заг}} = V_{\text{заг}}$ и $V' = V$. В этом случае получают заготовку несколько больших размеров, что компенсирует отклонения действительных размеров от принятых.

При изменении ϵ_{0H} , вызывающем увеличение θ более чем на 1%, производят пересчет операции осадки с изменением принятых размеров D'_0 и H'_0 до тех пор, пока θ увеличится меньше, чем на 1%. Размер D_6 можно определить исходя из экспериментально установленного соотношения между величинами D_6 , D_T и $D_{\text{пр}}$ (приведенный диаметр основания цилиндра в отсутствии бочкообразования, см. рис. 70, а):

$$\frac{D_6 - D_{\text{пр}}}{D_{\text{пр}} - D_T} = \frac{1}{3},$$

откуда

$$D_6 = \frac{4D_{\text{пр}} - D_T}{3} = \frac{4,5 \sqrt{\frac{V}{H_K}} - D_T}{3}$$

или окончательно

$$D_6 = 1,5 \sqrt{F_{\text{пр}}} - 0,33 D_T. \quad (26)$$

Необходимость учета металла, размещенного в зоне бочкообразования, можно обосновать значительными его потерями в слу-

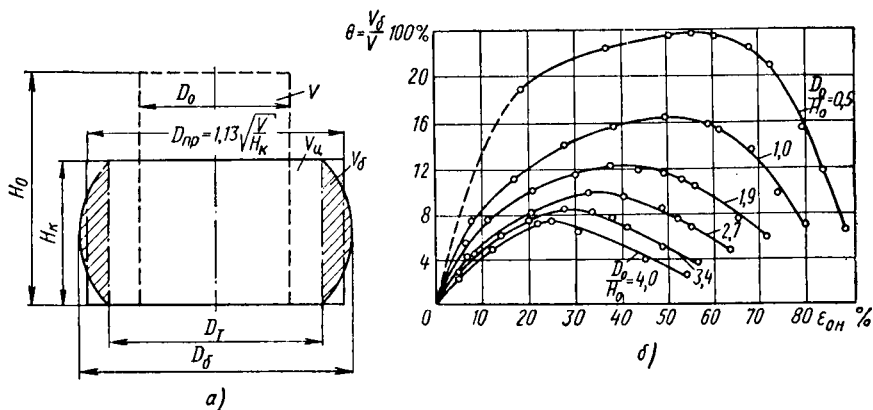


Рис. 70. К расчету бочкообразования при осадке:

составные элементы бочкообразной поковки $V = \frac{\pi D^2}{4} H_0$; $V_{\text{ц}} = \frac{\pi D_T^2}{4} H_K$;
 $V_6 = V - V_{\text{ц}}$ (а); график $\theta = f(\epsilon_{0H})$ при различных $D_0 : H_0$

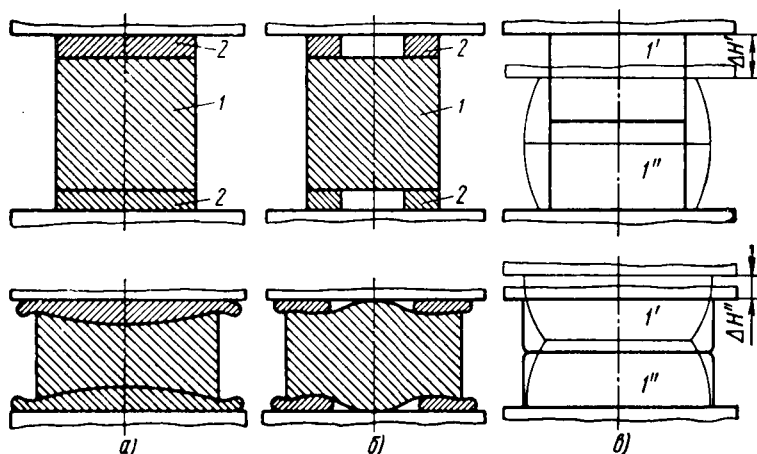


Рис. 71. Схемы осадки, исключая бочкообразование у поковок:

а—осадка между легко деформируемыми сплошными прокладками; б—то же между кольцеобразными прокладками; в — начальная осадка двух заготовок с окончательной осадкой после их осевого поворота

чае пренебрежения бочкообразованием. График на рис. 70, б соответствует осадке в условиях сухого трения на грубообработанных плитах, т. е. в условиях наибольшего бочкообразования. По этим данным объем потерь металла в отдельных случаях достигает $\sim 24\%$ (например, при $\frac{D_0}{H_0} = 0,5$ и $\epsilon_{0H} = 60\%$) *.

По величине θ (рис. 70, б) можно приблизительно определить объем, характеризующий вогнутостью образующей сбиллетированного слитка (по рис. 69, в).

При осадке высотный размер заготовки прямоугольного сечения может быть большим, чем круглой заготовки. Например, при $H_0 \leq 3,2B_0$ продольного изгиба может и не быть, если в начале осадки обеспечена соосность заготовки и внешней силы. При $\frac{B_0}{H_0} < 2$ осадка происходит с превращением прямоугольного сечения основания в эллиптическое, а затем в круглое.

Бочкообразование особенно нежелательно при ковке высоколегированных труднодеформируемых сплавов (например, жаропрочных), поскольку кроме искажения формы поковки бочкообразование характеризует неравномерность деформации и соответственно механических свойств металла. В промышленности заготовки 1 осаживают между прокладками 2 из более мягкого металла, чем металл заготовки. Принцип такого способа осадки состоит в том (рис. 71, а), что обжимаемая прокладка получает

* Применение указанного метода расчета на Уралмашзаводе позволило снизить массу поковок в некоторых случаях на 22% и массу слитка на 16%.

радиальное течение, при котором активные силы трения увлекают торцовый слой заготовки и способствуют ее осадке без бочкообразования и ярко выраженной затрудненности деформации в приконтактных зонах, что сопровождается и уменьшением неравномерности деформации. При подборе подходящих прокладок учитывают их сопротивление деформации, толщину и температуру в момент осадки, так как только комбинация этих величин создает условия равномерной, без бочкообразования, деформации данной заготовки. Кроме того, приходится считаться с искажением торца осаженной заготовки, который получается вогнутым (см. нижнюю позицию рис. 71, а). Лучшие результаты в этом отношении получаются при использовании кольцеобразных прокладок (рис. 71, б). Такого же результата можно добиться при одновременной осадке за два обжатия двух поставленных друг на друга заготовок с поворотом каждой из них на 180° в плоскости оси после первого обжатия (рис. 71, в). Спаренную осадку можно осуществить исходя из условий потери устойчивости процесса при высотах отдельных заготовок не более $(1,25-1,5) D_0$ с тем, чтобы суммарная их высота составила $\sum H_0 \leq (2,5-3,0) D_0$.

После первого обжатия на величину $\Delta H'$ заготовки переворачивают, складывая их вместе бывшими контактными поверхностями. Спаренную заготовку, вогнутую с боковой поверхности, обжимают вторично на величину $\Delta H''$ до превращения в заготовку правильной цилиндрической формы. А. Н. Брюханов, используя положение о постоянстве деформируемого объема, несколько утрируя схему осадки (пренебрегая переходом боковой поверхности на контактную при неравномерной деформации) и полагая равенство радиальных перемещений при обоих обжатиях по месту сопряжения двух заготовок, нашел следующие соотношения: для первого обжатия

$$K_1 = \sqrt{\frac{9K_H + K_H^2}{10}}$$

и для второго обжатия

$$K_2 = \sqrt{\frac{10K_H}{9 + K_H}},$$

где $K_H = K_1 K_2$ — коэффициент деформации ($K_H = \frac{H_0}{H_K}$), равный произведению частных коэффициентов обжатий.

При $K_H = 6$, что задано в качестве параметра процесса, находим $K_1 = 3$ и $K_2 = 2$. Во всех случаях $K_2 < K_1$. Поскольку величиной K_H обычно задаются в расчете, достаточно определить одну из этих величин, тогда другую найдем как частное от деления:

$$K_2 = \frac{K_H}{K_1}, \quad K_1 = \frac{K_H}{K_2}.$$

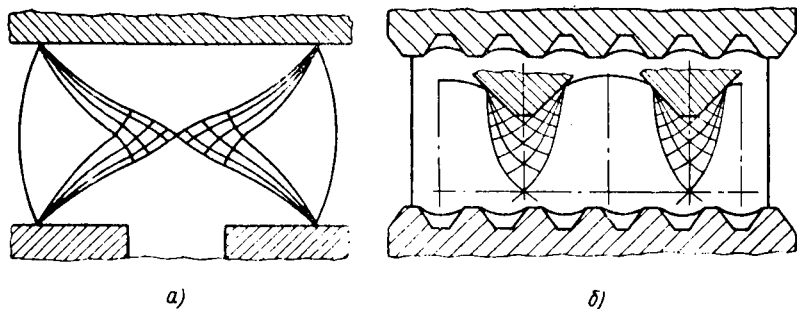


Рис. 72. Поля линий скольжения в поперечном сечении осаживаемых заготовок
а — плоским и б — рельефным профилем бойка

Для устранения ярко выраженных зон затрудненной деформации используют бойки с пирамидальным рельефом рабочей поверхности (рис. 72). Осадка такими бойками сопровождается образованием большого числа мелких зон затрудненной деформации неглубокого залегания, которые не приводят к общему бочкообразованию. Последующие обжатия заготовки плоскими бойками приводят к выравниванию торцевой поверхности поковки.

При изучении напряженно-деформированного состояния металла используют метод полей линий скольжения (рис. 72), предполагая относительно небольшие количественные отличия в оценке двухмерной и осесимметричной схем деформации. Непосредственно к плоской поверхности инструмента примыкают так называемые жесткие зоны (по гипотезе деформации жестко-пластического тела). Со стороны свободной поверхности расположена зона равномерного напряженного состояния. Между указанными зонами находятся пластические области, форма которых зависит от соотношения размеров заготовки и величины сил трения. Эти области контактируют по оси осаживаемых заготовок и описывают очаг сдвиговой деформации (рис. 72, а). При осадке рельефными бойками (рис. 72, б) вначале происходит внедрение выступов рельефа в металл, затем деформация распространяется по всему объему с одновременным заполнением впадин между выступами рельефа. В теории обработки металлов давлением рассмотрены способы построения эпюр нормальных напряжений по сеткам линий скольжения и определения по объему этих эпюр соответствующего усилия, необходимого для деформации.

Как отмечалось, если осадке подвергают не всю заготовку (по длине), а только ее часть (конец или середину), то операция называется высадкой. При ковке поковок небольших габаритных размеров на молотах их высаживают, помещая подлежащую деформации часть заготовки в полость подкладного инструмента.

Высаживаемую часть крупных заготовок подвергают местному нагреву. Если из-за больших габаритных размеров заготовка не помещается в рабочем пространстве молота или прессы, то ее высаживают в горизонтальном положении, зажимают между бойками, раскачивают и ударяют по нагретому металлу «соколом», т. е. горизонтально подвешенным на кране массивным стержнем. Известен способ высадки, при котором заготовку поднимают краном (или через блок лебедкой) и затем при падении с некоторой высоты высаживают ударами о плиту, установленную на полу цеха. Все эти приемы допустимы в индивидуальном производстве. При серийном выпуске поковки высаживают с помощью различных приспособлений, например приспособлений, позволяющих осуществить высадку при забивке клина между стенкой инструмента и торцом высаживаемой заготовки. Это приспособление известно с давних времен и называлось «машинкой».

Кроме рассмотренных выше обычных схем осадки на практике применяют осадку плитами с отверстием (рис. 73, а). Такая осадка позволяет выдавить отростки (h_v и h_n) со стороны одного или одновременно обоих торцов заготовки. Так отковывают некоторые типы валков прокатных станов, короткие кулачковые валы и т. п. При небольшой длине и малом диаметре отростков получить их другим способом очень сложно.

Осадка в кольцевых плитах имеет схему течения, которая отличается от схемы течения обычной осадки наличием двух потоков металла. Радиальное течение металла от оси аналогично течению при осадке сплошными плитами и наблюдается на периферии заготовки. Это течение тормозится силами трения T_1 , направленными к оси заготовки. Второй поток металла направлен радиально к оси заготовки и вдоль нее в отверстие каждой плиты. Это течение тормозится встречными силами трения T_2 на поверхности плиты. Попадая в отверстия и передвигаясь по нему, металл преодолевает силы трения и на стенках отверстий

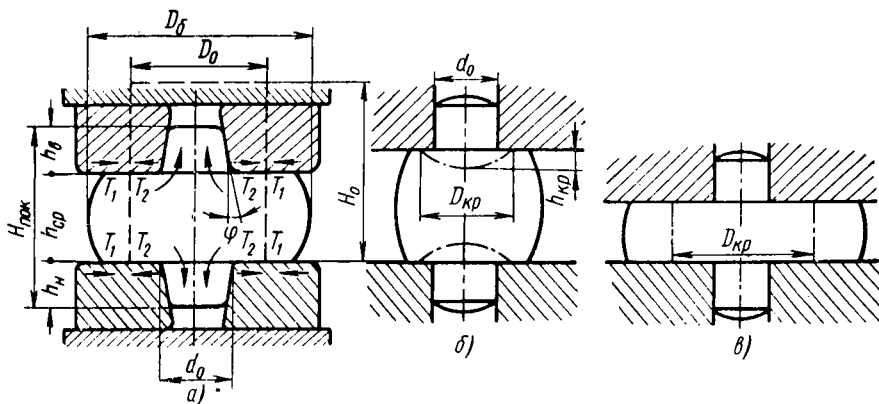


Рис. 73. Осадка кольцевыми плитами

(на рис. 73 они не указаны). Чтобы облегчить извлечение поковки из отверстий плит, их изготовляют с уклоном $\varphi = 5 \div 7^\circ$. Наличие уклонов в отверстиях плит затрудняет перемещение металла, поскольку отростки по мере увеличения их длины уменьшаются в поперечном сечении. Между рассмотренными двумя потоками металла находится поверхность раздела (или критическая поверхность). В зависимости от соотношения размеров исходной заготовки $\left(\frac{D_0}{H_0}\right)$ и относительной величины отверстия в плитах $\left(\frac{d_0}{D_0}\right)$, а также величины контактных сил трения необходимая осадка для получения заданной длины отростков различна. Расчет деформаций с целью получения отростков заданной длины усложняется тем, что к моменту их оформления средняя часть поковки должна иметь вполне определенный размер.

Общие закономерности процесса следующие. В начале осадки заготовок с $D_0/H_0 \leq 1$ уменьшается общая с отростками высота заготовок. Это означает, что затекание металла в отверстия меньше, чем осадка исходной заготовки. Постепенно эта разница сглаживается, и настает такой момент, когда $H_{\text{пок}} = H_0$ (рис. 73, а). На некоторой стадии осадки $H_{\text{пок}}$ остается постоянной, а затем начинает возрастать, причем интенсивность возрастания увеличивается по мере увеличения отношения диаметра заготовки к высоте. При осадке заготовок с $D_0/H_0 \geq 2$ высота поковки увеличивается. Такой характер изменения высоты поковки свидетельствует о сложном и неодинаковом характере течения металла на различных стадиях осадки. Установлено, что на первой стадии осадки при уменьшении $H_{\text{пок}}$ металл в основном течет из центральных областей к периферии в диск, а на второй при увеличении $H_{\text{пок}}$ наблюдается движение частиц в противоположном направлении из периферийных частей заготовки в отверстия плит. При этом положение поверхности раздела постоянно изменяется и зависит от величины $\frac{D_0}{H_0}$, $\frac{d_0}{D_0}$ и коэффициента высотной деформации $\frac{h_{\text{ср}}}{H_0}$. На первой стадии осадки плитами с отверстиями поверхности раздела расположены, как показано на рис. 73, б.

Глубина расположения поверхности раздела определяется величиной $h_{\text{кр}}$. В начале осадки $D_{\text{кр}} \approx d_0$. По мере увеличения степени деформации $h_{\text{кр}}$ и $D_{\text{кр}}$ увеличиваются, и наступает такой момент, когда $h_{\text{кр}}$ становится равной половине высоты диска поковки $h_{\text{ср}}^1$. В этот момент начинается вторая стадия осадки. Положение поверхности раздела для этого случая (рис. 73, в) определяется ее диаметром $D_{\text{кр}}$.

Изменение размеров поковки в каждый момент осадки определяется положением поверхности раздела или величиной $h_{\text{кр}}$ для первой стадии и $D_{\text{кр}}$ для второй.

В зависимости от соотношений размеров заготовки и степени деформации осадка может ограничиться только первой или второй

и второй стадиями. Момент перехода от первой стадии осадки ко второй зависит от условий контактного трения. Несмотря на сложность явлений, сопровождающих описанный процесс, он поддается расчету.

Для определения величины деформации при осадке используют различные показатели и коэффициенты: коэффициент высотной деформации или уковки при осадке $K_H = \frac{H_0}{H_K}$ (изменяется в пределах $1-\infty$), относительная высотная деформация по исходному размеру $\varepsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0}$ (изменяется в пределах $0-1$), относительная высотная деформация по конечному размеру $\varepsilon_{KH} = \frac{H_0 - H_K}{H_0}$ (изменяется в пределах $0-\infty$), логарифмический показатель высотной деформации $e_H = \ln K_H = \ln \frac{H_0}{H_K}$ (изменяется в пределах $0-\infty$).

Поперечные деформации при осадке рассчитывают на основании условия неизменности объема при деформации (искажением формы объекта деформации пренебрегают): $H_0 B_0 L_0 = H_K B_K L_K$ для прямоугольных заготовок и $H_0 D_0^2 = H_K D_K^2$ — для круглых заготовок. Из этих равенств можно получить $K_H = K_B K_L$ (равенство коэффициента высотной деформации произведению коэффициентов уширения $K_B = \frac{B_K}{B_0} > 1$ и удлинения $K_L = \frac{L_K}{L_0} > 1$, каждый из которых меньше K_H), а также $K_H = \left(\frac{D_K}{D_0}\right)^2$ или $K_H = K_D K_\Pi$ (равенство коэффициента высотной деформации квадрату коэффициента радиальной деформации или произведению коэффициентов радиальной $K_D = \frac{D_K}{D_0}$ и тангенциальной $K_\Pi = \frac{\Pi_K}{\Pi_0}$ деформаций; $\Pi = \pi D_0$ и $\Pi_K = \pi D_K$ — периметры круглой заготовки до и после осадки). Как известно, все коэффициенты и показатели взаимно пересчитываются и взаимозависимы по различным осям координат, например:

$$K_H = \frac{\varepsilon_{KH}}{\varepsilon_{0H}} = \varepsilon_K + 1 = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}} = \exp \ln \frac{H_0}{H_K}.$$

При установлении взаимосвязи показателей деформации по трем координатным осям следует их группировать с учетом одинаковых пределов изменения, тогда в общую группу объединяются ε_{0H} , ε_{KB} , ε_{KL} (пределы изменения $0-1$); ε_{KH} , ε_{0B} , ε_{0L} (пределы изменения $0-\infty$) и т. д.

Подставляя в $K_H = K_B K_L$ соответствующие значения относительных деформаций с пределами изменения $0-1$, находим

$$\frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{KB}} \frac{1}{1 - \varepsilon_{KL}},$$

откуда

$$\varepsilon_{0H} = \varepsilon_{KB} + \varepsilon_{KL} - \varepsilon_{KB} \varepsilon_{KL}. \quad (27)$$

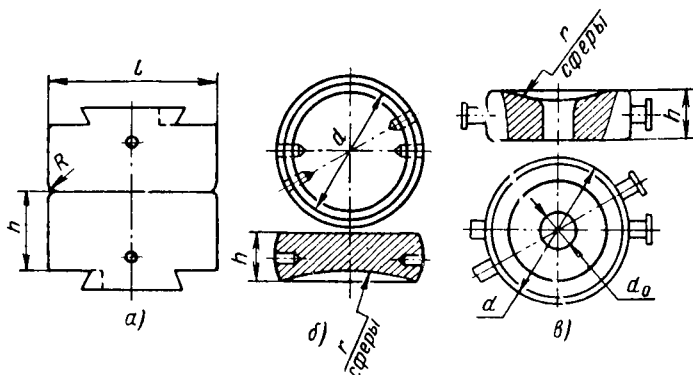


Рис. 74. Инструмент для осадки:

l , h , d — соответственно длина, высота и диаметр инструмента

Аналогично для взаимосвязи показателей, изменяющихся в пределах $0-\infty$, находим

$$\epsilon_{KH} + 1 = (\epsilon_{0B} + 1)(\epsilon_{0L} + 1),$$

откуда

$$\epsilon_{KH} = \epsilon_{0B} + \epsilon_{0L} + \epsilon_{0B}\epsilon_{0L}. \quad (28)$$

Таким образом, установлено, что без учета знака относительная деформация по высоте при осадке меньше суммы двух других деформаций на их произведение в случае изменения показателей в пределах $0-1$ и больше суммы двух других деформаций на их произведение в случае изменения показателей в пределах $0-\infty$.

Инструмент для осадки. Типовым инструментом для осадки под молотами являются универсальные плоские бойки, которые крепят клиньями (рис. 74, а).

Молотовые бойки используют для выполнения различных операций (осадки, протяжки и т. п.). Поскольку размеры молотовых бойков относительно большие, а работают они в условиях динамических нагрузок, их обычно изготавливают из инструментальной стали и подвергают термической обработке (5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ и т. п.). Это обстоятельство, а также и то, что молотовые операции отличаются незначительной продолжительностью, обеспечивает длительную стойкость инструмента и относительно хорошее состояние его рабочей поверхности. Бойки прессов более массивны, причем время их непрерывной работы очень велико. Если металл инструмента разогревается выше температур отпуска инструментальной стали, то преимущества этой стали теряются, в связи с чем многие заводы применяют для изготовления прессовых бойков углеродистую сталь (например, сталь 45). Дляковки высоколегированной, труднодеформируемой стали используют бойки из легированной и даже высоколегированной сталей с высокой температурой отпуска. Поскольку неко-

торая выработка и оплывание рабочих ребер бойков (например, для протяжки) допустимы для ряда операций, а для осадки недопустимы, то при ковке на прессах применяют специальные осадочные подкладные плиты (рис. 74, б и в), изготавливаемые из углеродистой стали литыми (35Л) или коваными (сталь 50). Диаметр осадочной плиты

$$d = 2D_0 = (1,2 \div 1,5) D_k,$$

где D_0 и D_k — диаметры исходной и осаженной заготовок.

Высоты верхней и нижней плит одинаковы и равны

$$h = (0,25 \div 0,35) d.$$

Высота нижней плиты должна быть несколько больше длины цапфы под патрон. При большой длине этой цапфы применяют дополнительные подкладные кольца.

Диаметр отверстия под хвостовик в нижней плите d_0 больше диаметра хвостовика на 10—15%.

Радиус сферической выемки

$$r = (2 \div 2,5) d;$$

наибольшая глубина выемки

$$\Delta h = (0,1 \div 0,2) h.$$

Сферические осадочные плиты обеспечивают устойчивое положение слитка в процессе осадки. Только для осадки перед прошивкой применяют обе плоские плиты. В большинстве остальных случаев верхняя плита — сферическая; нижние плиты чаще всего тоже сферические, реже плоские и в отдельных случаях могут быть даже с обратным конусом (рис. 75, а). В зависимости от поставленных целей уклон α обратного конуса плит может быть 5—30°. Например, для преимущественного обжатия средней

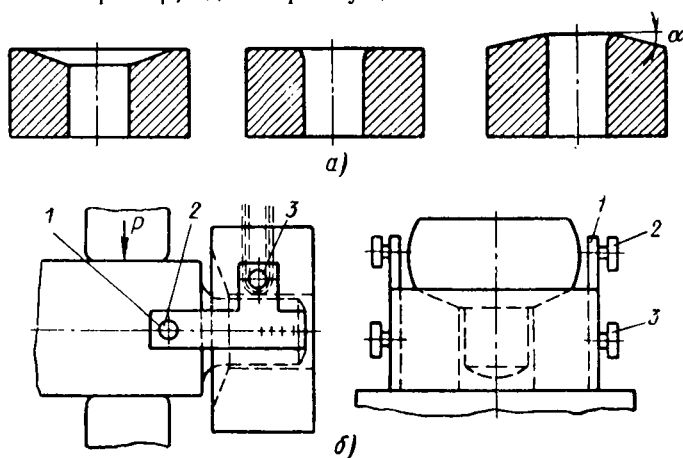


Рис. 75. Конструкции нижних осадочных плит

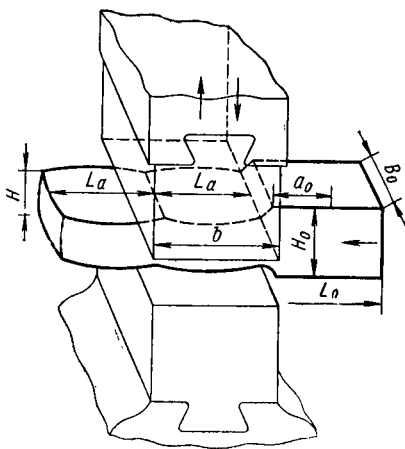
предприбыльной части слитка осадка его ведется в подстуженном состоянии на плите с углом обратного конуса $\alpha = 30^\circ$. С этой же целью применяют и верхние плиты с обратной конусностью. Оттянутый хвостовик (иначе он называется цапфой под патрон) входит в отверстие нижней плиты, что способствует устойчивому положению заготовки в процессе осадки. Установку нижней плиты и слитка на нее обычно осуществляют краном сверху вниз при выдвинутом положении нижнего бойка (за счет движения стола пресса). Затем с помощью стола пресса передвигают всю систему в положение соосности с верхним бойком и осуществляют осадку.

Если эта операция является дополнительной и вслед за ней следует протяжка, то необходимо удалить осадочную плиту, а заготовку из вертикального положения переместить в горизонтальное. Эти вспомогательные операции могут быть ускорены и упрощены при использовании усовершенствованной конструкции нижней плиты (рис. 75, б). Слиток с оттянутым хвостовиком устанавливают в горизонтальном положении на подкладки рядом с прессом или зажимают бойками силой P . Затем краном подводят нижнюю осадочную плиту, на которой с двух сторон симметрично укреплены два двуплечих рычага 1 с цапфами: верхними 2 и боковыми 3 . Для того чтобы поместить хвостовик слитка в отверстие плиты, ее удерживают краном за цапфу 3 . Затем плиту захватывают за цапфы 2 , при этом она поворачивается вместе со слитком и может быть установлена на нижний боек, выдвинутый столом пресса (см. правую позицию рис. 75, б). После окончания осадки для снятия нижней плиты и поворота заготовки поднимают плиту за цапфы 3 с помощью крана. Осадка самая тяжелая кузнечная операция, поэтому именно по ней подбирают подходящее по мощности оборудование.

Протяжка (см. табл. 18). Эта операция — наиболее распространенная и предназначена для увеличения длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения. Если осадка осуществлена за одно обжатие при полном перекрытии заготовки, то для протяжки необходимы последовательные обжатия смежных участков заготовки, причем с одной или двух сторон обжимаемого участка заготовки находятся необжимаемые участки (внешние участки заготовки). Значительная продолжительностьковки объясняется в большой степени многочисленностью обжатий, необходимых при протяжке. На основании этого иногда неправильно рассматривают весь процессковки как технологически несовершенный.

Однако нельзя забывать, что именно периодичность обжатий, наличие большого числа стыков обжатых участков, а также весьма благоприятные условия для сдвиговой деформации обеспечивают ковке высокую турбулентность деформации, что способствует быстрому и разнонаправленному разрушению дендритов, сопровождающемуся интенсивным повышением механических свойств металла. Если при прессовании и прокатке необходимы для этой

Рис. 76. Протяжка за один проход (показано окончание второго обжатия). Стрелками указаны направления движения бойка и заготовки



цели коэффициенты деформации, равные соответственно 7—10, то для протяжки углеродистой стали достаточен коэффициент уковки 1,5—2,0 и только для легированной стали он должен быть равен 3—4.

Рассмотрим вначале простейшую схему протяжки—без кантовки за один проход (рис. 76). Заготовка прямоугольного сечения с размерами H_0 , B_0 , L_0 продвигается вдоль бойков при каждом обжатии на величину подачи a_0 , меньшую, чем ширина бойка b . При этом геометрический очаг деформации представляет собой объем $V_a = H_0 B_0 a_0$, который после обжатия остается таким же по величине, но характеризуется произведением $V_a = H B_a L_a$. Величина H определяется величиной обжатия ($H = H_0 - \Delta H$). Величина L_a зависит от подачи и удлинения ($L_a = a_0 + \Delta L$). Эти величины могут быть измерены непосредственно. Величина B_a , зависящая от обжатия и подачи, вследствие неравномерного уширения вдоль очага деформации может быть получена лишь расчетом как средняя:

$$B_a = \frac{V_a}{L_a H}.$$

На рис. 77 показана форма геометрического очага деформации V_a в конце единичного обжатия. Штриховой линией дан контур объема V_a , который до начала деформации имел размеры H_0 , B_0 , a_0 . Штриховой линией показан объем V_a

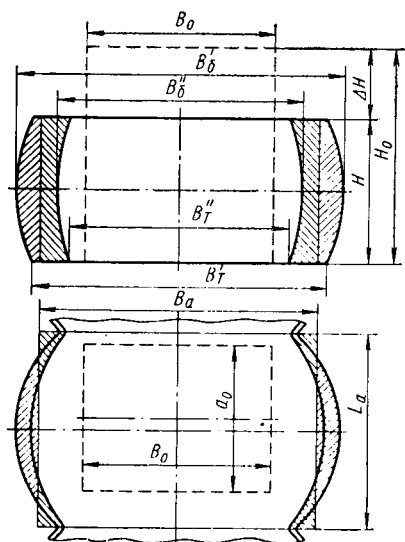


Рис. 77. Форма геометрического очага деформации в конце единичного обжатия при протяжке:

B'_0 , B'_T и H — размеры среднего поперечного сечения; B''_0 , B''_T и H — размеры сечения на стыке соседних обжатий; B_a — расчетная ширина очага деформации

с размерами H и L_a , совпадающими с действительными размерами геометрического очага деформации в конце обжатия, и размером V_a в виде приведенной (вычисленной) величины.

Действительный объем V_a в конце обжатия имеет сложную конфигурацию, так как бочкообразование по вертикали боковой поверхности сопровождается ее искривлением вдоль подачи; выпуклость боковой поверхности в этих обоих направлениях переменная. Размеры B'_6 и B'_7 характеризуют наибольшую выпуклость боковой поверхности в среднем поперечном сечении очага деформации, а B''_6 и B''_7 — на границе с соседним очагом деформации. Плоскости на расстоянии B_a рассекают объем действительного очага деформации так, что снаружи за их пределами размещаются избыточные объемы (их два), а внутри между этими плоскостями и боковой поверхностью заготовки — недостающие объемы (в плане их четыре). Естественно, что избыточные объемы с выпуклой боковой поверхностью (штриховка слева, вверх, направо) равны недостающим объемам со сложно вогнутой поверхностью (штриховка слева, вниз, направо).

Появление сложной выпуклости на боковой поверхности протягиваемой заготовки объясняется (как и при осадке) силами контактного трения, но, кроме того, по границам внешних частей заготовки деформации сдерживаются вследствие сплошности металла. Поэтому выпуклость в среднем сечении очага больше, чем на его границе, в вертикальной $\left(\frac{B'_6 - B'_7}{2} > \frac{B''_6 - B''_7}{2}\right)$, и в горизонтальной плоскостях $\left(\frac{B'_6 - B''_6}{2} > \frac{B'_7 - B''_7}{2}\right)$. На самом деле при протяжке по описываемой схеме деформация при каждом обжатии не ограничивается объемом V_a и частично распространяется на соседние участки, вызывая дополнительные напряжения. С учетом этих деформаций можно представить физический очаг деформации несколько большего объема, чем объем V_a .

Сложная схема деформации при протяжке не позволяет до сих пор вводить в расчеты истинные размеры очага деформации (в частности, величины B_6 и B_7), поскольку они зависят не только от величин обжатия и подачи, но и от величины контактных сил трения. Чем больше эти силы, тем в большей мере проявляется выпуклость в вертикальной плоскости очага. Что касается выпуклости в горизонтальной плоскости очага, то она в основном определяется силами связи с внешними частями заготовки. Очевидно, в отсутствие сил трения при протяжке будет наблюдаться выпуклость только в горизонтальной плоскости очага деформации. Если пренебречь уширением, что допустимо при относительно малых подачах, то обжатия при протяжке можно охарактеризовать полями линий скольжения (рис. 78).

Согласно теории, вдоль линий скольжения имеет место только сдвиговая деформация, а нормальные деформации, которые могли бы привести к изменению протяженности линий скольжения,

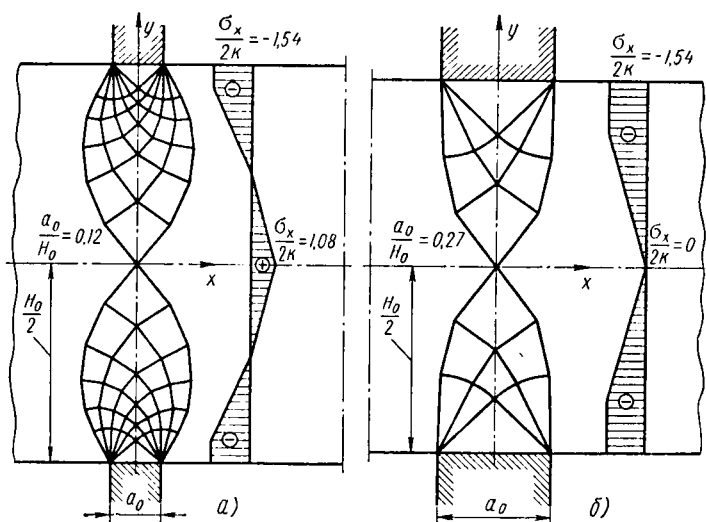


Рис. 78. Поля линий скольжения при протяжке с меньшей (а) и большей (б) подачами (по В. А. Тюрину)

отсутствуют. По сетке линий скольжения строят поле скоростей, по которому в каждом отдельном случае устанавливают направления перемещений и характер деформированного состояния металла. Как известно, поля линий скольжения используют для построения эпюр напряжений и затем для подсчета усилия, требующегося для обжатия.

Рассмотренная простейшая схема однопроходной протяжки значительно усложняется при протяжке с кантовкой заготовки на 90° . Перемена местами двух осей в схеме деформации (ширина становится высотой заготовки) и изменение формы заготовки значительно влияют на количественные соотношения деформаций по трем осям.

Расчеты формоизменения при протяжке значительно упрощаются при использовании средней (приведенной) величины уширения. В основу расчета протяжки положен принцип суммирования главных деформаций. Протяжка — это операция, состоящая из многих обжатий, причем единичные обжатия по существу представляют собой поперечную осадку при наличии внешних по отношению к очагу деформации частей заготовки. Таким образом, наибольшей главной деформацией каждого единичного обжатия является высотная деформация, которая больше любой из двух других главных деформаций: в направлении протяжки и направлении уширения. Однако смежное расположение обжатий при подачах вдоль одного направления протяжки приводит к суммированию только деформаций вдоль оси заготовки, так что

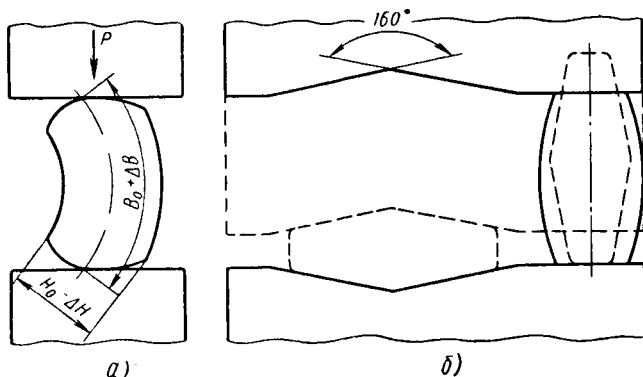


Рис. 79. Потеря устойчивости скантованной и обжимаемой заготовок при $\eta > 2,5$ (а) и способ протяжки с увеличенным коэффициентом перехода (б)

деформация вдоль оси заготовки во много раз превышает деформацию вдоль двух других осей

$$L_k - L_0 = \Delta L = \sum_n \Delta L_a = n \Delta L_a, \quad (29)$$

где n — число обжатий; ΔL_a — увеличение длины заготовки за одно обжатие.

Дополнительно увеличить длину протягиваемой заготовки можно обжатиями с кантовкой, после которой знаки деформации по ширине и высоте изменяются относительно предыдущих на обратные, тогда как знак величины ΔL_a не изменяется и деформация продолжает суммироваться, увеличивая общую длину заготовки. Количественное ограничение протяжки обусловливается опасностью потери устойчивости заготовки при очередном обжатии после каждой кантовки (рис. 79, а). Поэтому необходимо, чтобы отношение бывшей ширины (теперь размера заготовки по высоте) к бывшей высоте (теперь к ширине) было в пределах

$$\eta = \frac{B_0 + \Delta B}{H_0 - \Delta H} \leq 2,5; \quad (30)$$

величина η называется коэффициентом перехода. Коэффициент перехода до $\eta = 3,0 \div 3,2$ (рис. 79, б) можно увеличить, если протягивать вначале на части бойков, имеющих большой угол выреза (например, 160°). После кантовки овальная в сечении заготовка имеет повышенную устойчивость. Кроме увеличения производительности этот прием позволяет добиться лучшей обработки металла, более раннего раздробления карбидов литой структуры, закрытия и заварки пустот слитка.

Важным является также выбор величины подачи при протяжке. Для увеличения производительности величину подачи следовало бы принимать максимально возможной, при этом следует исходить

из того, что при обжатии металл не должен вытекать за пределы ширины бойка $L_a \leq b$ (см. рис. 76). Однако с увеличением подачи возрастает уширение, которое ограничивает протяжку.

Наиболее простая схема расчета предложена в усовершенствованном виде М. В. Сторожевым. При рассмотрении поперечного сечения заготовки в момент окончания очередного обжатия можно условно принять, что площадь F_I (рис. 80, а) смещается, площадь F_{II} остается неизменной, а площади F_{III} и F_{IV} появляются в результате уширения при обжатии. Так как на уширение идет лишь часть обжимаемого металла (причем меньшая), то, очевидно,

$$F_{III} + F_{IV} \leq F_I.$$

Равенство

$$F_{III} + F_{IV} = f F_I$$

действительно при условии $f \leq 1$.

Если переписать это равенство применительно к линейным размерам заготовки, то получим

$$(B_k - B_0) H_k = f (H_0 - H_k) B_0. \quad (31)$$

После раскрытия скобок и замены $B_k H_k = F_k$ на $B_0 H_0 = F_0$ и высотного обжатия показателем степени деформации находим

$$F_k = F_0 [1 - \varepsilon_{0H} (1 - f)], \quad (32)$$

откуда величину f определяем как отношение относительных деформаций по ширине и высоте заготовок:

$$f = \frac{B_k - B_0}{B_0} : \frac{H_0 - H_k}{H_k} = \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{0H}} \leq 1. \quad (33)$$

По смыслу величина f характеризует интенсивность уширения или долю относительной деформации уширения от относительной

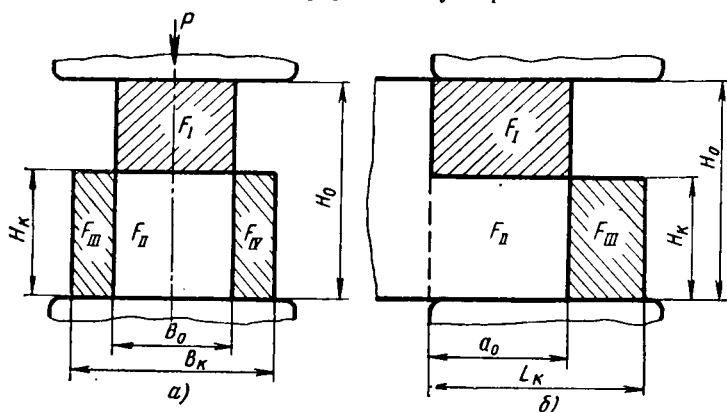


Рис. 80. Схемы к выводу коэффициентов уширения и вытяжки в процессе протяжки

высотной деформации, поскольку они выражены сопоставимыми показателями (обе изменяются в пределах $0-\infty$). В отличие от коэффициента уширения $\left(\frac{B_K}{B_0}\right)$, логарифмического показателя уширения $\left(\ln \frac{B_K}{B_0}\right)$ и степени деформации уширения $\left(\epsilon_{0B} = \frac{\Delta B}{B_0}\right)$ или $\epsilon_{KB} = \frac{\Delta B}{B_K}$ величину f будем называть коэффициентом интенсивности уширения. При $f = 0$ уширение отсутствует и обжатия приводят только к удлинению заготовки, что интенсифицирует протяжку. При $f = 1$, напротив, обжатия приводят только к уширению заготовки. Для установления влияния этой величины на величину коэффициента уковки при протяжке воспользуемся его выражением в следующей записи:

$$K_L = \frac{L_K}{L_0} = \frac{F_0}{F_K},$$

где F_0 и F_K — площади поперечного сечения до и после протяжки заготовки.

Используя коэффициент интенсивности уширения, получим по рис. 80, а

$$\begin{aligned} K_L &= \frac{F_I + F_{II}}{F_{II} + F_{III} + F_{IV}} = \frac{F_I + F_{II}}{F_{II} + f(F_I)} = \\ &= \frac{B_0 H_0}{B_0 H_K + f B_0 (H_0 - H_K)} = \frac{H_0}{H_K + f(H_0 - H_K)}. \end{aligned}$$

Разделив числитель и знаменатель на H_0 и учтя, что $\frac{H_0 - H_K}{H_0} = \epsilon_{0H}$, $\frac{H_K}{H_0} = \epsilon_{0H} - 1$, находим

$$K_L = \frac{1}{1 - \epsilon_{0H}(1 - f)}. \quad (34)$$

Это выражение известно в литературе как формула Е. П. Унксова. Аналогично можно поступить при рассмотрении схемы деформации протяжки в продольном сечении (рис. 80, б). Полагая $F_{III} \leq F_I$ (в результате уширения), находим коэффициент интенсивности удлинения при протяжке из выражения $q(H_0 - H_K) a_0 = (L_K - a_0) H_K$:

$$q = \frac{L_K - a_0}{a_0} : \frac{H_0 - H_K}{H_K} = \frac{\epsilon_{0L}}{\epsilon_{KH}}. \quad (35)$$

В расчетах деформаций при протяжке, которая характеризуется удлинением заготовки, логично было бы использовать коэффициент интенсивности удлинения. Однако в технической литературе в расчетах обычно принимают коэффициент интенсивности уширения.

Оба эти коэффициента связаны между собой некоторой зависимостью. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Для сопоставления величин f и q воспользуемся выражением (28), разделив обе его части на ε_{KH} , тогда

$$\frac{\varepsilon_{0L}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{0L}\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}} = 1 \text{ или } q + f + f\varepsilon_{0L} = 1,$$

откуда

$$q + f(1 + \varepsilon_{0L}) = 1. \quad (36)$$

Так как $1 + \varepsilon_{0L} = K_L$, находим

$$q + fK_L = 1 \text{ или } q = 1 - fK_L. \quad (37)$$

Поскольку $K_L > 1$, то сумма $(q + f) \leq 1$ в отличие от суммы показателей уширения и удлинения, устанавливаемой из равенства $\ln K_H = \ln K_L + \ln K_B$:

$$\frac{\ln K_L}{\ln K_H} + \frac{\ln K_B}{\ln K_H} = 1$$

или в другом обозначении

$$C_L + C_B = 1. \quad (38)$$

Как известно из курса теории обработки металлов давлением, логарифмические коэффициенты деформации представляют собой удельные смещенные объемы (например, $V_{смH} = V \ln K_H$; $\ln K_H = \frac{V_{см(H)}}{V}$; аналогично $\ln K_L = \frac{V_{см(L)}}{V}$ и $\ln K_B = \frac{V_{см(B)}}{V}$), в связи с чем выражение (38) свидетельствует о равенстве модулей высотной деформации сжатия и суммы двух других деформаций (удлинения и уширения). Более подробное выяснение технологических особенностей процесса протяжки, а также соответствующих коэффициентов и показателей возможно при рассмотрении данных табл. 19. С этой целью все данные рассмотрены применительно к различным величинам относительных подач $\left(\frac{a_0}{B_0}\right)$, которые характеризуют распределение смещения металла в удлинение и уширение при протяжке.

В табл. 19 приведены усредненные экспериментальные данные для коэффициента интенсивности уширения f (рис. 81). Относительно небольшое расхождение экспериментальных данных, полученных разными авторами на различных металлах в неодинаковых условиях опытов, подтверждает мнение специалистов о том, что коэффициент f (а следовательно, и q) почти не зависит от величины обжатия, контактного трения, колебаний температуры и химического состава металла заготовки. Во второй строке таблицы приведены коэффициенты уковки, рассчитанные по формуле Е. П. Унксова для обжатия $\varepsilon_{0H} = 0,3$; здесь видно, как постепенно с увеличением относительных подач от 0,3 до 2 уковка уменьшается от 1,35 до 1,15 при неизменном обжатии. По этим данным рассчитаны коэффициенты q (табл. 19) и отношение $q : f$. Там же приведены данные В. Г. Березкина по относительным

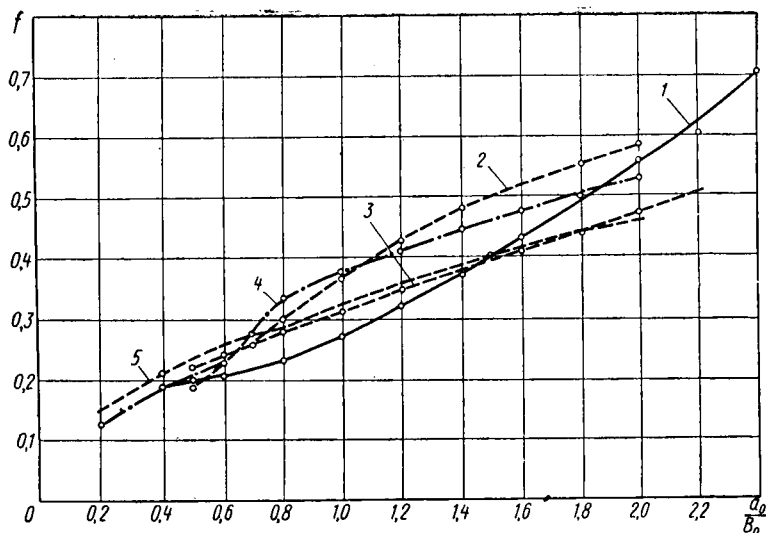


Рис. 81. Сопоставление различных данных по расчету коэффициента уширения f :

1 — по М. В. Сторожеву; 2 и 3 — по В. Г. Березкину $\left(\frac{H_0}{B_0} = 1 \text{ и } \frac{\dot{H}_0}{B_0} = 2\right)$;
4 и 5 — по П. Ф. Иванушкину $\left(\frac{H_0}{B_0} = 1 \text{ и } \frac{\dot{H}_0}{B_0} = 2\right)$

логарифмическим коэффициентам уширения и удлинения при протяжке с обжатием $\epsilon_{0H} = 0,3$. По данным табл. 19 можно заключить, что $\frac{q}{f} > \frac{e_L}{e_B}$ или $\frac{e_{0L}}{e_{0B}} > \frac{\ln K_L}{\ln K_B}$, несмотря на то, что $q + f \leq \frac{e_L}{e_H} + \frac{e_B}{e_H} = 1$.

Равенство $q = f$ наблюдается при относительной подаче $\frac{a_0}{B_0} = 1,6$, а при $\frac{a_0}{B_0} = 1$ $q = 2f$. Равенство логарифмических коэффициентов удлинения и уширения $e_L = e_B$ наблюдается при $\frac{a_0}{B_0} = 1,2$.

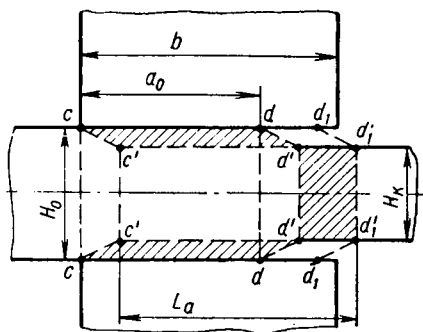
В технологических расчетах могут быть использованы также следующие легко устанавливаемые зависимости. На основании выражения (27) можно получить $f + q(1 + \epsilon_{0B}) = 1$, но так как $1 + \epsilon_{0B} = K_B = \frac{K_H}{K_L}$, то можно написать

$$f + q \frac{K_H}{K_L} = 1,$$

Таблица 19
Зависимость коэффициентов интенсивности ушрения и удлинения от величины относительной подачи при протяжке

Коэффициент	Относительная подача $a_0 : B_0$									
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
$f = \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}}$	0,13	0,17	0,20	0,24	0,27	0,32	0,36	0,41	0,46	0,56
$K_L = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}(1 - f)}$ при $\varepsilon_{0H} = 0,3$	1,35	1,32	1,31	1,29	1,28	1,25	1,22	1,21	1,19	1,15
$q = \frac{\varepsilon_{0L}}{\varepsilon_{KH}} = 1 - fK_L$	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66	0,60	0,56	0,50	0,45	0,36
$\frac{q}{f} = \frac{\varepsilon_{0L}}{\varepsilon_{0B}} = \frac{K_L - 1}{K_B - 1}$	6,30	4,6	3,7	2,90	2,40	2,0	1,5	1,20	1,0	0,63
$C_B = \frac{\varepsilon_B}{\varepsilon_H} = \frac{\ln K_B}{\ln K_H}$	0,15	0,20	0,25	0,30	0,37	0,45	0,5	0,55	0,58	0,64
$C_L = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_H} = \frac{\ln K_L}{\ln K_H}$	0,85	0,80	0,75	0,70	0,63	0,55	0,50	0,45	0,42	0,36
$C_0 = \frac{C_L}{C_B} = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_B} \frac{\ln K_L}{\ln K_B}$	5,60	4,0	3,0	2,30	1,66	1,20	1,0	0,82	0,72	0,56

Рис. 82. Схема деформаций при протяжке (продольное сечение)



откуда

$$\frac{K_L}{K_H} = \frac{q}{1-f}.$$

Аналогично из $q + f \times (1 + \varepsilon_{0L}) = 1$ находим

$$\frac{K_B}{K_H} = \frac{f}{1-q},$$

тогда

$$\frac{K_L}{K_B} = \frac{q - q^2}{f - f^2}. \quad (39)$$

Кинематическая схема смещения объема в направлении протяжки показана на рис. 82. Точки c и d в процессе обжатия перемещаются по кривым, расстояние между которыми вследствие удлинения увеличивается от a_0 до L_a в конце обжатия. Вытесняемый из-под бойков шириной b объем металла (участки $cc'dd'$) частично идет на уширение, а в основном — на удлинение, которое характеризуется участком $d'd_1d'd'$. Величину относительного логарифмического удлинения при протяжке можно представить как отношение абсолютных смещенных объемов по длине заготовки и высоте ее сечения. Действительно, так как $V_{cm(L)} = Ve_L$ и $V_{cm(H)} = Ve_H$, то

$$\frac{e_L}{e_H} = \frac{V_{cm(L)}}{V_{cm(H)}}.$$

Аналогично может быть установлено равенство

$$\frac{e_B}{e_H} = \frac{V_{cm(B)}}{V_{cm(H)}}, \text{ а также } \frac{e_L}{e_B} = \frac{V_{cm(L)}}{V_{cm(B)}}.$$

Используя данные табл. 19, можно определить необходимый режим деформации при протяжке.

Порядок расчета протяжки заготовок квадратного и прямоугольного сечений разработан еще в 30-х годах М. В. Сторожевым. Для расчета при известных размерах исходной заготовки необходимо задаться относительной величиной подачи $\frac{a_0}{B_0}$ и степенью высотной деформации ε_{0H} .

Для дальнейшего расчета необходимо определить коэффициент интенсивности уширения f или коэффициент интенсивности удлинения q . Для этого воспользуемся табл. 19 и рис. 81 или приведенными ниже выражениями, которые учитывают все три размера геометрического очага деформации. Они установлены на основании опытных данных по протяжке (по В. Г. Березкину).

Для заготовки квадратного сечения при $\frac{H_0}{B_0} = 1$

$$f = 1,1 \sqrt[4]{\frac{a_0}{B_0}} - 0,74.$$

Для полосы прямоугольного сечения при $\frac{H_0}{B_0} = 2$

$$f = 0,37 \sqrt{\frac{a_0}{B_0}} - 0,042.$$

По этим данным определяют коэффициент уковки K_L , а затем площадь сечения и длину протянутой заготовки:

$$F_k = \frac{F_0}{K_L}, \quad L_k = K_L L_0$$

и ее среднюю ширину

$$B_{cp} = \frac{F_k}{H_k},$$

где $H_k = H_0 (1 - \epsilon_{0H})$.

Аналогично решается обратная задача, когда по известным размерам поковки и заданному коэффициенту ковки находят исходные размеры заготовки.

Как известно из курса теории обработки давлением, коэффициент уковки обладает свойством аддитивности, что позволяет суммировать частные коэффициенты при дробном обжатии K_1, K_2, K_3 и т. д:

$$K_{общ} = K_1 K_2 K_3 \dots K_n.$$

Это остается верным и при обжатии с кантовками. В общем случае, обозначая направления обжатия через x, y, z , получим

$$K_{общ} = K_x K_y K_z.$$

В. Г. Березкин [2] утверждает возможность использования свойства аддитивности коэффициента уковки при комбинированной ковке с поочередным применением осадки и протяжки, когда

$$K_{общ} = K'_{пр} K'_{ос} K''_{пр} K''_{ос} \dots K^n_{пр} K^n_{ос},$$

где $K_{пр}$ и $K_{ос}$ — коэффициенты уковки при протяжке и осадке. Эффективность протяжки в значительной степени определяется величиной относительных подач, которые на практике далеко не всегда соответствуют оптимальным величинам.

При работе с минимальными подачами для уменьшения уширения или максимальными обжатиями для повышения интенсивности протяжки следует опасаться образования зажимов, которые возможны при $a_0 \gg \frac{\Delta H}{2}$ (рис. 83). Следовательно, устанавливаемая степень деформации в данных условиях связана и с величиной подачи.

Протяжка с небольшими подачами приводит к увеличению числа обжатий, что увеличивает продолжительность протяжки, и к снижению производительности. Обычно стремятся установить такую величину подачи, при которой протяжка совершается в наименьшее время.

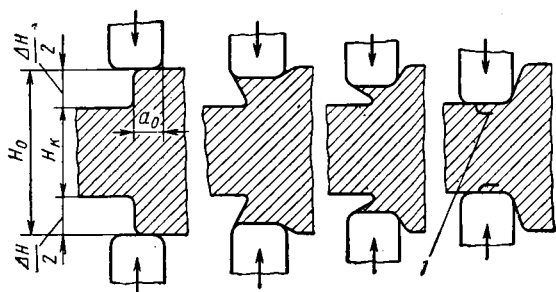


Рис. 83. Схема образования зажима при протяжке:

1 — зажим

На практике величину относительной подачи чаще всего принимают в пределах 0,4—0,7. При многопереходной протяжке наименьшее число обжатий и переходов и повышенная производительность соответствуют большим подачам, но при этом поверхность заготовки получается неровной. Для ускорения протяжки (особенно в начале процесса) можно величину подачи принимать равной $a_0 = (1,2 \div 1,8) B_0$. При этом следует иметь в виду, что протяжка с большими подачами увеличивает неравномерность деформации и расходуюемую энергию. Кроме того, при увеличении подачи и сохранении тех же величин обжатий усилие прессы или энергии молота должны быть увеличены. Протяжка с большими подачами сопровождается значительным уширением, но приводит к уменьшению коэффициента уковки, необходимого для достижения высоких механических свойств при ковке литого металла.

Для уменьшения общего коэффициента уковки с целью получения высоких механических свойств при ковке литого металла можно протягивать на нечетных проходах (без кантовки) с большими подачами ($\frac{a_0}{B_0} = 1,2 \div 1,8$), а на четных проходах — с обычными подачами ($\frac{a_0}{B_0} = 0,4 \div 0,7$).

Поскольку от величины подачи зависят производительность труда, минимальный коэффициент уковки, качество прокованного металла и затрата энергии (экономичность процесса), то в основу оптимизации процесса протяжки может быть положен любой из перечисленных критериев в зависимости от постановки задачи.

Допустимую величину обжатия определяют исходя из пластических свойств деформируемого металла. Если металл выдерживает очень большие деформации, то критерием служит коэффициент перехода, который учитывает потерю устойчивости при обжатии недопустимо высокой заготовки и для плоских бойков отвечает величине отношения высоты заготовки (после кантовки) к ее ширине.

Связь между коэффициентом перехода и степенью деформации устанавливают следующим образом. Рассмотрим стадию протяжки, при которой размеры заготовки H_0 ; B_0 ; L_0 изменяются до величин H_1 , B_1 , L_1 .

Тогда

$$\frac{H_0 - H_1}{H_0} = \varepsilon_{0H}; \quad \eta = \frac{B_1}{H_1} = 2,5; \quad \varepsilon_{0H} = 1 - \frac{H_1}{H_0}; \quad H_1 = \frac{B_1}{\eta},$$

отсюда

$$\varepsilon_{0H} = 1 - \frac{B_1}{\eta H_0}. \quad (40)$$

Рассмотрим два крайних случая.

1. Весь смещенный объем при каждом обжатии поступает в уширение, т. е. удлинение отсутствует, $L_0 = L_1$.

На основании положения о постоянстве объема определяем B_1 и подставляем его в формулу:

$$B_1 = \frac{B_0 H_0}{H_1},$$

но

$$\frac{H_0}{H_1} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}},$$

тогда

$$B_1 = \frac{B_0}{1 - \varepsilon_{0H}}.$$

Подставив в формулу (40) полученное выражение для B_1 , получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0H} &= 1 - \frac{B_0}{\eta H_0 (1 - \varepsilon_{0H})}; \\ 1 - \varepsilon_{0H} &= \frac{B_0}{\eta H_0 (1 - \varepsilon_{0H})}; \\ (1 - \varepsilon_{0H})^2 &= \frac{B_0}{\eta H_0}; \quad \varepsilon_{0H} = 1 - \sqrt{\frac{B_0}{\eta H_0}}. \end{aligned} \quad (41)$$

2. Металл течет только в длину, уширение отсутствует, $B_0 = B_1$. Степень деформации по высоте запишем в виде

$$\varepsilon_{0H} = 1 - \frac{B_0}{\eta H_0}. \quad (42)$$

Подставляя в формулу (41) и (42) $\eta = 2,5$, получаем данные (рис. 84) для допустимых ε_{0H} при различных значениях $\frac{B_0}{H_0}$.

Кривая I, соответствующая формуле (41), ограничивает область безопасных обжатий. Максимальные степени деформации, взятые по этой кривой в зависимости от $\frac{B_0}{H_0}$, не могут привести к отношению $\frac{B_1}{H_1}$, большему 2,5, т. е. к продольному изгибу, так как в процессе протяжки всегда есть течение металла в длину и действительные размеры B_1 будут меньше определяемых по кривой I.

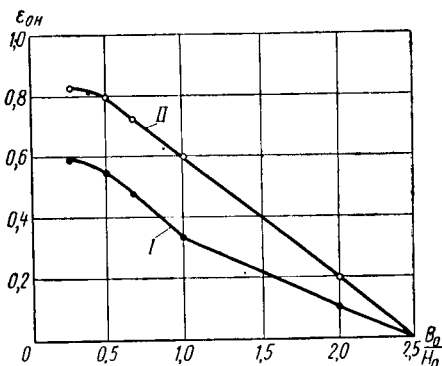


Рис. 84. Зависимость допустимых и опасных обжатий от относительных размеров исходной заготовки при протяжке плоскими бойками и $\eta = 2,5$

Кривая II, соответствующая формуле (42), характеризует те степени деформации, при которых неизбежно появление продольного изгиба после кантовки, так как в реальном процессе протяжки B_1 будет больше теоретического;

поэтому участок графика выше этой кривой является областью недопустимых обжатий плоскими бойками. Область между кривыми I и II соответствует реальному процессу протяжки. Однако в данном случае неизвестно соотношение между удлинением и уширением; поэтому при назначении степеней деформации, соответствующих этой области, могут быть получены соотношения между B_1 и H_1 , большие и меньшие 2,5. Эта область называется областью опасных обжатий.

Следовательно, в распоряжении технолога при расчете процесса протяжки имеются ориентировочные данные для определения оптимальных величин подачи и безопасных степеней деформации.

Зная величины f и ϵ_{0H} , по формуле (34) определяем коэффициент уковки K_L , по которому устанавливаем площадь F_0 и длину L_0 заготовки, подлежащей протяжке:

$$F_0 = K_L F_k, \quad L_0 = \frac{L_k}{K_L}.$$

Конечные размеры площади поковки F_k и ее длину L_k находят по чертежу поковки. Аналогично находят конечные размеры поковки по известным исходным размерам заготовки.

В зависимости от массы, длины протягиваемой заготовки и способа ее удержания в процессековки применяют различные способы протяжки.

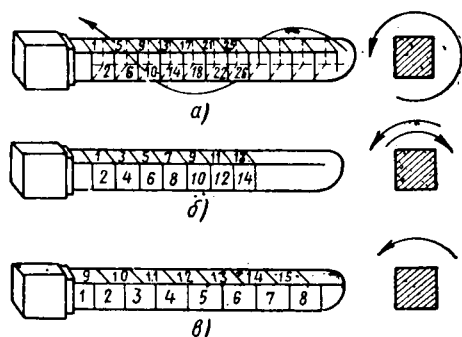
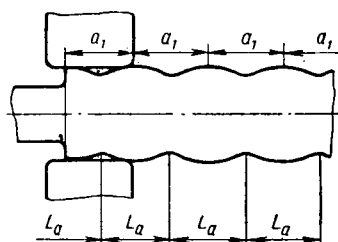
Если заготовка удерживается с того конца, около которого находится кузнец (ручными клещами, патроном на кране, манипулятором), то второй опорой для заготовки служит нижний боек, а центр тяжести заготовки и удерживающего приспособления расположен между двумя опорами. Крупные заготовки можно удерживать краном, находящимся сзади рабочего места кузнеца (с другой стороны прессы), при этом центр тяжести заготовки может быть расположен и позади прессы. Протяжку начинают с конца заготовки или с ее середины. При протяжке короткой заготовки ковку начинают с дальнего ее конца от кузнеца, причем каждая

Рис. 85. Рациональное обжатие заготовки после кантовки

последующая подача приближает кузнеца к местуковки: это так называемая протяжка «на себя». При протяжке длинных заготовок ковку начинают с их середины. Если заготовка удерживается с одной стороны (со стороны рабочего места кузнеца), то, чтобы избежать перемещения центра тяжести заготовки за пределы двух опор, следует отковать сначала удаленную от кузнеца половину заготовки, центр тяжести заготовки при этом будет находиться между двумя опорами. В этом случае протяжку ведут «от себя». После захвата (в клещи или патрон) откованной части заготовки куют второй конец заготовки, в этом случае протяжка ведется также «от себя». При ковке слитков, удерживаемых по обе стороны пресса, могут быть использованы все варианты их перемещения в процессе протяжки.

При протяжке различают переходы и проходы. Простейший переход состоит из обжатия и подачи. Чаще при протяжке применяют более сложные переходы с кантовкой заготовки между соседними обжатиями и подачей после каждого двух обжатий. Смежные переходы на длине протягиваемой заготовки составляют проход. Протяжка может быть однопроходной, двухпроходной и т. д., но она всегда многопереходная.

При ковке переходами с кантовкой места зон затрудненной деформации и бокового бочкообразования чередуются, что уменьшает неравномерность деформации. Для уменьшения неравномерности деформации на стыках двух подач последние целесообразно после кантовки увеличивать до L_a , при этом заготовку надо устанавливать так, чтобы стыки между подачами до кантовки были расположены посередине подачи a_1 после кантовки (рис. 85).



Существует несколько способов ведения протяжки. При ковке плоскими бойками применяют следующие три способа (рис. 86).

1. После каждого обжатия следует кантовка на 90° в одну и ту же сто-

Рис. 86. Способы чередования обжатий и кантовок при протяжке:

а — по винтовой линии; б — с кантовкой в обе стороны; в — с кантовкой после прохода на всю длину протяжки (цифры — номера обжатий)

рону. После каждого четырех обжатий следует подача (рис. 86, а). Этот способ протяжки более трудоемок, его применяют только при ковке твердой инструментальной стали. Считается, что ковка по винтовой линии (как называют этот способ) способствует уменьшению внутренних напряжений. Однако на стыках подач неравномерность деформации получается значительной.

2. После каждого перехода следует подача и очередной переход и так до конца протяжки (рис. 86, б, где указана последовательность номеров обжатия для каждого прохода).

3. Обжатия и подачи следуют одни за другими на всю длину протяжки (на весь проход), затем следует кантовка и последовательное обжатие заготовок с другой стороны (рис. 86, в). Этот способ протяжки применяют для мелких и средних (по массе) заготовок из углеродистой и легированной сталей. Если в результате прохода по большой длине заготовка искривляется, то ее кантуют на 180° , выравнивают, и лишь затем после кантовки на 90° следует очередной проход (рис. 86). Искривление заготовки объясняется различной шириной и износом верхнего и нижнего бойков и более интенсивным остыванием стороны заготовки, прилегающей более длительное время к нижнему бойку.

Протяжку круглых заготовок на круглые большей длины в плоских бойках не осуществляют из-за появления растягивающих напряжений и возможности трещинообразования в осевой области заготовки. Обычно при протяжке на круг плоскими бойками круглые заготовки вначале превращают в квадратные со стороной квадрата, равной диаметру поковки, затем сбивают углы и округляют заготовку. Высоколегированные стали, склонные к трещинообразованию, проковывают на пластину (для заварки пустот и трещин), а затем перековывают на нужный профиль.

С круга на круг коуют в так называемых вырезных бойках, которые бывают с круглым вырезом — радиусные или овальные и угловым вырезом с закруглением в вершине углов — ромбические бойки. Широко применяют комбинированные бойки — верхний плоский, нижний вырезной (табл. 20).

В табл. 20 приведена характеристика различных бойков для протяжки, основанная на сетках линий скольжения. При построении сделано допущение о наличии плоской деформации в рассматриваемых поперечных сечениях. Такое допущение может быть сделано при обжатии цилиндрической заготовки большой длины, деформируемой с полным перекрытием бойками. Другое допущение заключается в том, что контактные силы трения принимаются пренебрежимо малыми.

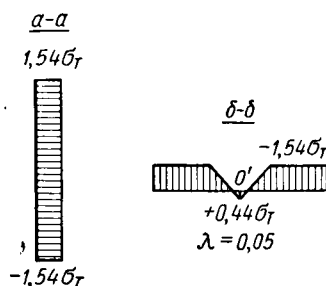
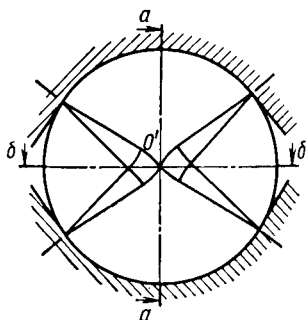
Поля линий скольжения определяют напряженное и деформированное состояние, а также компоненты перемещений и скоростей деформаций в любой точке рассматриваемого сечения. Однако наиболее деформируемые области сечения заготовки целесообразно оценивать по эпюрам нормальных напряжений. Эти эпюры построены для сечений, проходящих через середины контактных поверх-

Бойки для протяжки

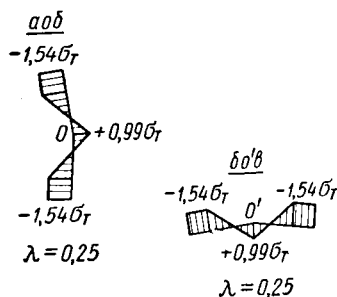
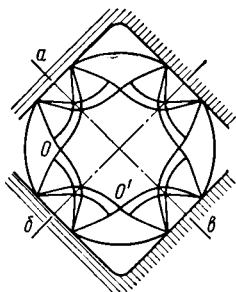
Бойки. Сетка линий скольжения

Эпюра нормальных напряжений
и относительная ширина области растяжения λ

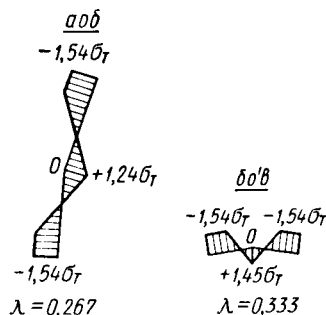
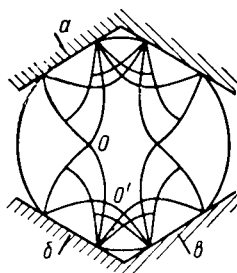
Радиусные с углом охвата $\gamma = 120^\circ$ для малопластичных металлов, обеспечивают весьма высокую интенсивность протяжки

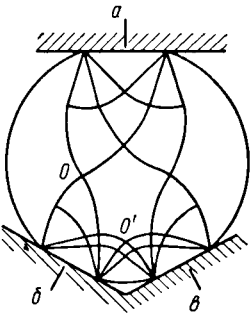
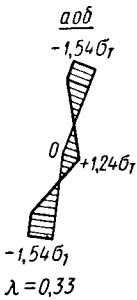
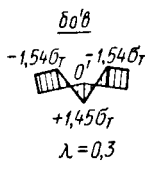
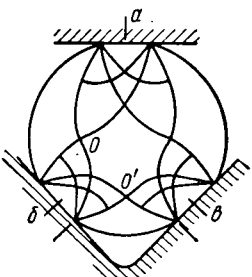
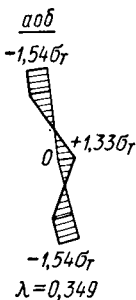
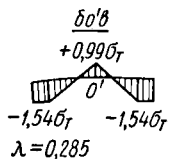
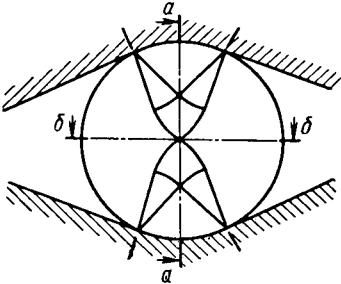
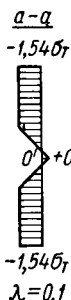
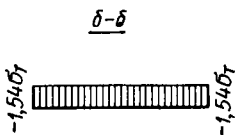


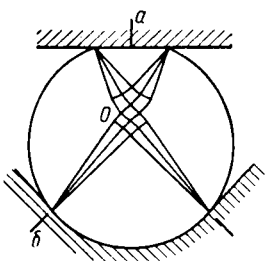
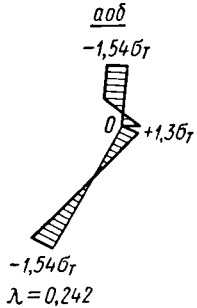
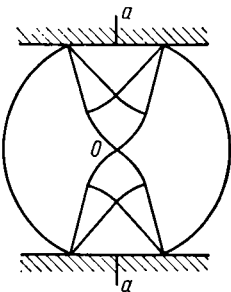
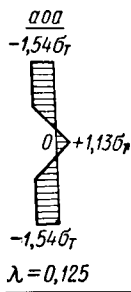
Вырезные с углом выреза $\varphi = 90^\circ$ для металлов с недостаточной пластичностью, обеспечивают высокую интенсивность протяжки



Ромбические с углом выреза 120° для недостаточно пластичных металлов, обеспечивают высокую интенсивность протяжки



Бойки. Сетка линий скольжения	Эпюра нормальных напряжений и относительная ширина области растяжения λ
Комбинированные с углом выреза 120° для металлов средней пластичности, обеспечивают среднюю интенсивность протяжки 	  $\lambda = 0,33$ $\lambda = 0,3$
Комбинированные с углом выреза 90° для металлов средней пластичности, обеспечивают среднюю интенсивность протяжки 	  $\lambda = 0,349$ $\lambda = 0,285$
Радиусные с углом охвата 60° для металлов с повышенной пластичностью, обеспечивают пониженную интенсивность протяжки 	  $\lambda = 0,1$

Бойки Сетка линий скольжения	Эпюра нормальных напряжений и относительная ширина области растяжения λ
Комбинированные с углом охвата 90° для металлов с высокой пластичностью, обеспечивают низкую интенсивность протяжки	
	 $\lambda = 0,242$
Плоские для протяжки на квадрат или пластину	
	 $\lambda = 0,125$

ностей и точки соприкосновения пластических зон. Как следует из эпюр, на некотором расстоянии от контактной поверхности наблюдаются зоны растягивающих напряжений. Эти зоны можно охарактеризовать отношением ширины участка растяжения к расстоянию от зоны растяжения до контактной поверхности.

Приведенные в табл. 20 данные позволяют выбрать тип бойков дляковки сталей с разной пластичностью. Наибольшая ширина зоны растяжения имеет место под плоским бойком при ковке по пятой сверху схеме; максимальный градиент растягивающих напряжений получается при ковке под плоскими бойками. Весьма благоприятными являются условия в вырезных радиальных бойках с углом охвата 120° , характеризующиеся незначительной протяженностью зоны растягивающих напряжений. По абсолютной величине растягивающие напряжения значительно меньше предела текучести металла, поэтому они не могут оказать решаю-

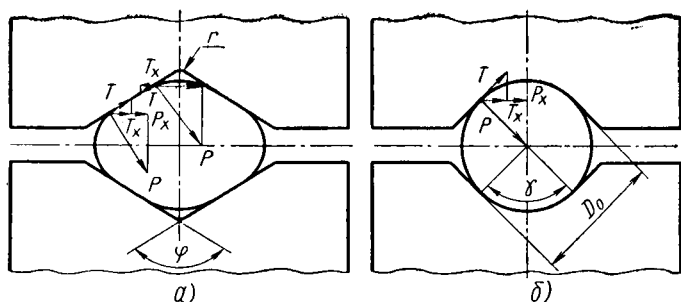


Рис. 87. Протяжка круглых заготовок в вырезных бойках:
а — в ромбических; б — в радиусных

щего влияния на появление в нем трещин и внутренних несплошностей.

На многих заводах с успехом применяют комбинированные бойки с углом выреза 135° дляковки восьмигранных слитков, профиль которых хорошо вписывается в вырез бойка, обеспечивая необходимый боковой подпор при ковке. Как видно из данных табл. 20, разница между ромбическими и кругловырезными бойками в том, что первые обеспечивают прерывистый контакт металла с инструментом, тогда как у вторых имеются сплошные участки контакта на определенной стадии обжатия. При ковке в ромбических бойках (рис. 87) металл обжимается по высоте и течет вдоль выреза, увеличивая длину заготовки, а также поперек выреза, образуя уширение и частично заполняя его углы, в направлении, обратном обжатию по высоте. Ковка в радиусных бойках (рис. 87, б) характеризуется обжатием по высоте и течением металла в уширение, причем протяжка осуществляется более интенсивно, чем в ромбических бойках. Если заготовка выбрана так, что $D_{\text{заг}} > D_0$, то в начале обжатия между наиболее глубокой частью выреза и заготовкой имеется просвет, который быстро заполняется металлом и процесс продолжается нормально.

Ромбические бойки характеризуются углом выреза φ , а радиусные — углом охвата γ . Вдоль плоскости выреза (рис. 87, а) действуют силы P и T , причем течение металла в угол выреза и в уширение происходит при различно направленных силах трения T . Вблизи разреза бойков горизонтальные составляющие P_x и T_x однонаправлены, обеспечивая боковой подпор металла, а вблизи вершины выреза эти силы разнонаправлены и боковой подпор ослаблен. Вдоль радиусной поверхности кругловырезного бойка (рис. 87, б) действуют неодинаковые нормальные силы и однонаправленные силы трения T с горизонтальной составляющей T_x , сдерживающей уширение и усиливающей боковой подпор, который изменяется в пределах угла охвата. Важным является то обстоятельство, что чем больше уширение, тем большие

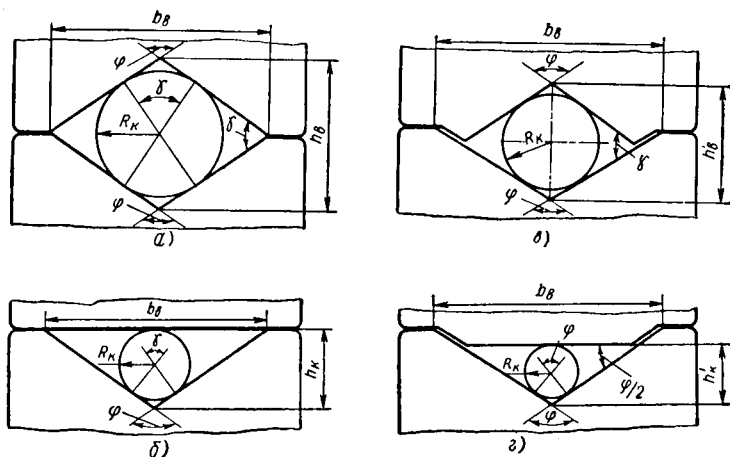


Рис. 88. Вырезные бойки:

a — ромбический; *б* — комбинированный; *в* — ромбический усовершенствованный; *г* — комбинированный усовершенствованный

растягивающие напряжения возникают на боковой поверхности заготовки.

При установлении типа и формы требуемых бойков исходят из интенсивности протяжки или производительностиковки, возможности обеспечения наибольшей деформации (уковки), получения схемы ярко выраженного объемного напряжения сжатия, ограничения уширения и т. д. Для каждого пресса по его номинальному усилию определяют размеры сечения слитка для протяжки (после билетировки или осадки). Диаметр этого слитка определяет наибольшую ширину выреза $b_{\text{в}}$. Для ромбических бойков вырез выполняют под одним из углов ряда: 135, 120, 110, 105, 90°. В зависимости от принятого угла выреза φ при данной его ширине получается та или иная глубина выреза $h_{\text{в}}$. Угол выреза φ связан с отношением $b_{\text{в}}/h_{\text{в}}$ тригонометрической зависимостью, по которой получаем

φ°	135	120	110	105	90
$b_{\text{в}}/h_{\text{в}}$	2,4	1,7	1,4	1,3	1,0

Кроме угла выреза ромбический боек, так же как и радиусный, характеризуется (рис. 88, *a*) углом γ охвата заготовки и радиусом $R_{\text{к}}$ в сокнутом положении бойков. Этот радиус характеризует наименьшее сечение протянутой заготовки. Углы выреза и охвата связаны между собой зависимостью

$$\varphi + \gamma = 180^\circ. \quad (43)$$

Чем больше угол выреза, тем меньше угол охвата. Обычно вырез имеет закругление $r_{\text{в}} \leq R_{\text{к}}$.

Максимальная глубина выреза каждого бойка при $r_b = 0$ составляет

$$\frac{h_b}{2} = \frac{R_k}{\sin \varphi/2} = \frac{R_k}{\sin (90 - \gamma/2)}. \quad (44)$$

При $r_b = R_k$ наибольшая глубина выреза $h_b/2 = R_k$.

В общем случае наибольшая глубина выреза зависит от величин φ или γ и R_k (с увеличением угла φ глубина выреза уменьшается). Возможная деформация при протяжке определяется следующим образом. Условно принимаем, что исходная заготовка R_0 не превышает половины ширины выреза ($b_b = h_b \operatorname{tg} \varphi/2$), тогда наибольший коэффициент уковки

$$K_L = K_{\text{пр}} = \frac{R_0^2}{R_k^2} = \frac{h_b^2 \operatorname{tg}^2 \varphi/2}{h_b^2 \sin^2 \varphi/2} = \frac{1}{\cos^2 \varphi/2}, \quad (45)$$

что соответствует таким его величинам:

φ°	90	110	120	135
$K_{\text{пр}}$	2,0	3,0	4,0	6,9

Чем больше угол выреза, тем больше возможная уковка. Именно в этом преимущество бойков с большим углом выреза. Однако, чем больше угол выреза, тем больше уширение и меньше боковой подпор.

Рабочее пространство комбинированных бойков (рис. 88, б) той же ширины b_b остается неизменным в начале обжатия, но значительно меньше в конце протяжки (при сомкнутых бойках) вследствие меньшей глубины выреза, так как при данном φ $h_k = h_b/2$. По этой причине аналогичный предыдущему расчет показывает, что для комбинированных бойков максимальные коэффициенты уковки составляют:

φ°	90	110	120	135
$K_{\text{пр}}$	5,8	10,7	13,0	25,0

Из-за возможности обеспечения таких больших коэффициентов уковки при протяжке комбинированные бойки получили широкое распространение.

Увеличение максимального коэффициента уковки при данных величинах угла выреза и его ширины возможно только за счет уменьшения глубины выреза в сомкнутом положении бойков. На рис. 88, г показан усовершенствованный комбинированный боек с глубиной выреза h'_k , которая в конце протяжки меньше, чем у обычных бойков, что увеличивает деформацию при протяжке.

Аналогичное решение для ромбических бойков (не комбинированных) представлено на рис. 88, в. Подобное конструктивное оформление бойков известно давно и в варианте — нижний ромбический, верхний — радиусный бойки, приведенном на рис. 9, видно, что узкий по фронту верхний блок к концу протяжки опускается ниже верхнего уровня ромбического (нижнего) бойка.

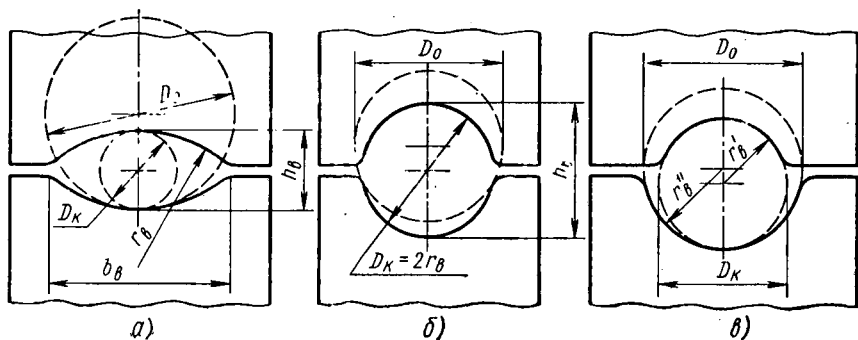


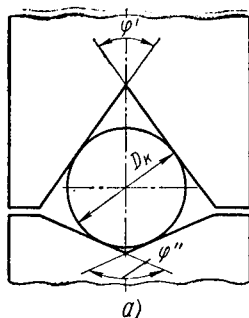
Рис. 89. Схемы протяжки в кругловырезных бойках при условиях:

$$a - r_b > \frac{D_0}{2}; h_b \leq D_k; b - D_0 > 2r_b = h_b = D_k; v - r'_b = \frac{D_k}{2} \text{ и } r''_b = \frac{D_0}{2}$$

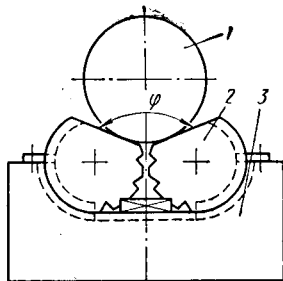
Применяют несколько вариантов бойков радиусной формы выреза (рис. 89). Весьма большие уковки получают при протяжке в овальных бойках с очень большим радиусом выреза, но малой его высотой (рис. 89, а). Вследствие большой свободы для уширения, малого бокового подпора и малых углов охвата заготовки протяжка сопровождается значительными наружными и внутренними растягивающими напряжениями, поэтому эта схема применима для металлов с большой пластичностью в данных условиях деформации. В противоположность этой схеме, схема на рис. 89, б обеспечивает протяжку с большим боковым подпором при ярко выраженной схеме трехосного сжатия. Однако уковки здесь невелики, а в начале процесса имеет место точечный охват заготовки с зазорами в вершинах вырезов бойков, что заставляет протягивать с малыми обжатиями. В конце протяжки достигается почти полный охват заготовки. Эта схема приемлема для протяжки малопластичного металла.

При протяжке по схеме на рис. 89, в также достигается только небольшая уковка, но она благоприятна в том отношении, что с самого начала процесса обеспечивается полный охват заготовки вырезом нижнего бойка и точечный охват с зазором только в вырезе верхнего бойка. К концу процесса полный охват заготовки достигается у выреза верхнего бойка при обжатии почти без бокового подпора в нижнем бойке. Однако механические свойства большинства сплавов к этому моменту достаточно высоки и такая схема обжатий также оказывается приемлемой.

Аналогично кругловырезным бойкам с различными радиусами вырезов верхнего и нижнего бойков применимы и ромбические бойки с различными углами вырезов верхнего φ' и нижнего φ'' бойков (рис. 90, а). Кроме указанных выше достоинств при ковке на подобных бойках можно получить перемещающийся центр сечения очага деформаций. При круговой кантовке опасные растя-



а)



б)

Рис. 90. Бойки с различными углами φ' и φ'' верхнего и нижнего вырезов (а) и с изменяющимся углом φ выреза (б):

1 — заготовка; 2 — части бойка; 3 — корпус бойка

гивающие напряжения возникают все в новых местах заготовки, что более безопасно, чем при ковке с постоянным центром очага деформации.

Угол охвата заготовки используют для расчетов обжатий, анализа распределения деформаций по сечению (формы и очертания очага деформации и жестких зон), характера напряженного состояния металла. Этот угол обычно является расчетной величиной при определении угла кантовки. При угле кантовки α , меньшем угла охвата γ , каждое последующее обжатие перекрывает предыдущее. Чем больше угол выреза бойков φ , тем меньше угол охвата γ , при этом угол кантовки уменьшается. Таким образом, с увеличением угла φ число обжатий заготовки для каждого перехода увеличивается, а производительность работы снижается. В процессековки-протяжки по мере уменьшения диаметра поковки целесообразно заменять бойки или вкладыши для уменьшения угла выреза, необходимого для обеспечения интенсивной протяжки и достижения оптимальной схемы напряженно-деформированного состояния металла по мере уменьшения сечения заготовки.

Боек (рис. 90, б) позволяет изменять угол выреза в процессековки. При этом исключается потеря времени на смену инструмента. Бойки могут быть ромбическими или радиусными.

С точки зрения трещинообразования очень опасны такие условия протяжки, при которых возникают совпадающие по знаку положительные деформации и напряжения в местах расположения малопластичных или весьма прочных, но хрупких составляющих структуры. Напротив, сжимающие деформации и напряжения устраняют имеющиеся дефекты слитка и не вызывают нарушения сплошности металла.

Исследованиями И. Я. Тарновского установлено, что при протяжке на плоских бойках прямоугольных заготовок определяющим фактором (с точки зрения возникновения растягивающих напряжений) является отношение подачи к высоте деформируемой заготовки $\frac{a_0}{H_0}$. При $\frac{a_0}{H_0} < 0,5$ во внутренних слоях заготовки наблюдаются значительные продольные растягивающие напряже-

ния. Отношение $\frac{a_0}{H_0} = 0,5 \div 0,7$ характеризуется в средней части поперечного сечения поковки очень малыми продольными напряжениями. При этом происходит переход от растягивающих напряжений к сжимающим. При $\frac{a_0}{H_0} > 0,7$ напряжения сжатия в центре поперечного сечения увеличиваются, одновременно увеличивается требуемое для протяжки усилие и уширение.

В отличие от общепринятой величины относительной подачи $\frac{a_0}{B_0}$ величину $\frac{a_0}{H_0}$ можно назвать высотной относительной подачей. При протяжке круглых заготовок оба выражения для подачи совпадают и равны $\frac{a_0}{D_0}$.

При протяжке в ромбических бойках круглой заготовки опасные растягивающие напряжения в осевой ее области возникают при $\frac{a_0}{D_0} < 0,5 \div 0,6$, а при $\frac{a_0}{D_0} > 0,5 \div 0,6$ наблюдаются уже сжимающие напряжения. По мере увеличения $\frac{a_0}{D_0}$ деформация проникает глубже к центру сечения, одновременно резко возрастает уширение, что может привести к появлению наружных дефектов на боковой поверхности поковки. При протяжке крупных поковок в ромбических бойках рекомендуется $\frac{a_0}{D_0} = 0,6 \div 1,0$.

Схема напряженно-деформированного состояния при протяжке в овальных бойках еще более благоприятна, чем при протяжке в ромбических бойках. Горизонтальные составляющие контактных сил трения и внешней силы действуют в общем направлении и способствуют увеличению шарового тензора напряжений

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_{\text{ср}} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\text{ср}} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\text{ср}} \end{vmatrix},$$

где

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}.$$

Вследствие этого уменьшаются или даже исчезают растягивающие напряжения.

Расчет протяжки в ромбических бойках разработан В. Г. Березкиным и Н. П. Клименко. Рассмотрим его применительно к бойкам с глубиной выреза, равной радиусу закругления r_b и $\varphi = 120^\circ$. Величину r_b выбирают равной половине диаметра поковки.

Рассматриваемый метод расчета (рис. 91) применительно к круглым заготовкам аналогичен расчету при протяжке квадратной заготовки под плоскими бойками. Для этого в расчете приняты приведенные высота и ширина сечения заготовки, а также приведенные размеры равновеликих по площади квадратных и прямоугольных сечений (рис. 91, б) после обжатия.

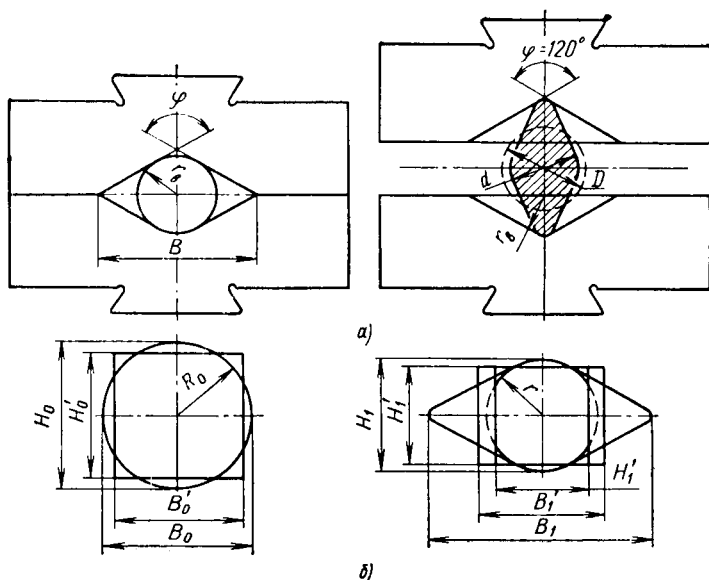


Рис. 91. Вырезные ромбические бойки (а) и принятые обозначения (б) заготовки

Сторона квадрата, равновеликого исходной круглой заготовке,

$$H'_0 = B'_0 = R_0 \sqrt{\pi}.$$

Высоту приведенного прямоугольника H'_1 , равновеликого сечению заготовки после обжатия, принимают равной высоте квадрата, равновеликого кругу радиусом r , $H_1 = r \sqrt{\pi}$.

Ширина прямоугольника

$$B'_1 = \frac{F'_1}{H'_1},$$

где F'_1 — сечение заготовки после обжатия.

Приведенная степень деформации

$$\epsilon'_{0H} = 1 - \frac{H'_1}{H'_0} \text{ или } \epsilon'_{0H} = 1 - \frac{r}{R_0}.$$

Коэффициент интенсивности уширения через приведенные величины

$$\hat{f} = \frac{H'_1 (B'_1 - B'_0)}{B'_0 (H'_0 - H'_1)}$$

или при полном смыкании бойков

$$\hat{f} = \frac{\frac{F_1}{\pi} - R_0 r}{R_0^2 - R_0 r}.$$

Таблица 21

Коэффициент интенсивности уширения f для круглой заготовки
и вырезных бойков

Относитель- ная подача $\frac{a_0}{B_0}$	Коэффициент f		Относитель- ная подача $\frac{a_0}{B_0}$	Коэффициент f	
	до кантовки	после кантовки		до кантовки	после кантовки
0,2	-0,05	0,15	1,0	0,11	0,33
0,3	-0,02	0,18	1,2	0,14	0,36
0,4	0,01	0,22	1,4	0,16	0,39
0,5	0,02	0,24	1,6	0,20	0,41
0,6	0,04	0,26	1,8	0,23	0,43
0,7	0,06	0,28	2,0	0,25	0,45
0,8	0,08	0,30	2,5	0,32	0,48

Коэффициент уковки K_L для протяжки в ромбических бойках можно определить по формуле (34).

На основе экспериментальной протяжки стальных и свинцовых заготовок в вырезных (ромбических) бойках были определены значения f в зависимости от относительной подачи $\frac{a_0}{B_0}$ (табл. 21).

Отрицательные значения коэффициента интенсивности уширения f при подачах 0,2 и 0,3 объясняются тем, что вырезные бойки обжимают заготовку не только по направлению движения инструмента, но и с боков, вследствие чего приведенная конечная ширина заготовки при малых подачах становится меньше начальной¹.

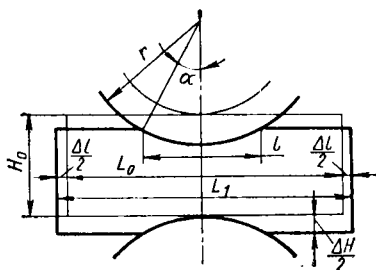
После обжатия и кантовки заготовки на 90° вторичное обжатие в тех же бойках позволяет определить значение уширения для всего перехода в зависимости от величины подачи (табл. 21). Так как ширина заготовки после первого обжатия меньше первоначальной, то течение в уширение при втором обжатии происходит интенсивнее, чем при первом, однако при всех величинах относительных подач (до 2,5) оно меньше 0,5, т. е. меньше вытяжки заготовки в длину.

Сравнение соответствующих данных показывает, что уширение при втором обжатии в ромбических бойках с $\varphi = 120^\circ$ и плоских бойках почти одинаково. Это объясняется тем, что в начале этого обжатия при малом радиусе закругления ребер заготовки ромбического сечения отсутствует боковой подпор, уширение происходит так же, как и при плоских бойках.

Для расчета протяжки круглых заготовок в ромбических бойках необходимо задаться величиной относительной подачи $\frac{a_0}{B_0}$, относительным обжатием ε_{0H} , определить приведенные размеры и коэффициент f или q . Как было показано, протяжку по этим

¹ При данной величине подачи отрицательные значения коэффициента уширения тем вероятнее, чем меньше угол выреза бойков.

Рис. 92. Схема и расчет протяжки в выпуклых бойках



величинам рассчитывают так же, как и протяжку квадратной заготовки на плоских бойках.

Для повышения интенсивности протяжки весьма пластичных металлов на первых проходах можно использовать выпуклые бойки вместо плоских.

Расчет протяжки в выпуклых бойках прямоугольных и квадратных заготовок впервые был разработан П. Ф. Иванушкиным. Соотношения между продольной и поперечной деформациями для этого случая установлены экспериментально при протяжке образцов из стали Ст5 квадратного и прямоугольного сечений при температуре 800—1250° С на гидравлическом прессе усилием 490 кН между бойками с различными радиусами выпуклости (рис. 92).

Как было установлено, относительный логарифмический коэффициент удлинения можно представить в виде отношения объемов, смещенных по длине и высоте:

$$C_L = \frac{e_L}{e_H} = \frac{V_{см}(L)}{V_{см}(H)},$$

$$V_{см}(L) = H_0 B_0 \Delta l,$$

$$V_{см}(H) = 2 \left\{ \left[\frac{2}{3} \frac{\Delta H}{2} l + \left(\frac{\Delta H}{2} \right)^2 \right] B_0 \right\} \approx 2 \Delta H l B_0, \quad (46)$$

где Δl — приращение длины заготовки; $\Delta H = H_0 - H_1$ — абсолютное обжатие середины деформируемого участка образца; l — длина деформируемого участка.

После преобразования

$$C_L = 1,5 \frac{\Delta l}{l} \frac{1}{e_{0H}}, \quad (47)$$

где

$$e_{0H} = \frac{\Delta H}{H_0}$$

высчитано в плоскости максимального обжатия.

Изменение C_L с изменением отношения радиуса бойка r к ширине заготовки показано на рис. 93; с увеличением r или уменьшением ширины заготовки уменьшается и ее удлинение. Зависимость C_L от степени обжатия $\frac{\Delta H}{H_0}$ дана на рис. 94.

Из рассмотрения кривых видно, что удлинение при $\frac{B_0}{H_0} = 1,0$ (рис. 94, а) больше, чем при $\frac{B_0}{H_0} = 0,5$ (рис. 94, б), причем во всех

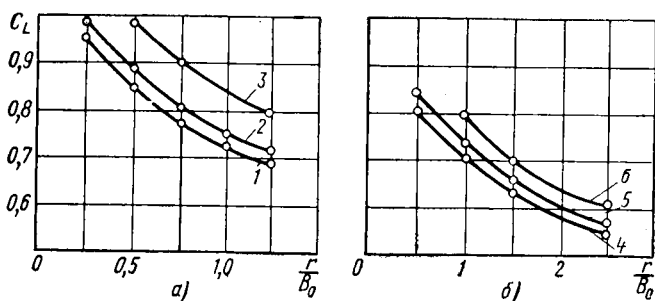


Рис. 93. Зависимость коэффициента удлинения при протяжке от радиуса r выпуклости бойков:

a — при $\frac{B_0}{H_0} = 1,0$; b — при $\frac{B_0}{H_0} = 0,5$; кривые, соответствуют значениям $\epsilon_0 H$:

$\epsilon_0 H$	0,2	0,3	0,5	0,7
Кривые	1	4	2	5
			3	6

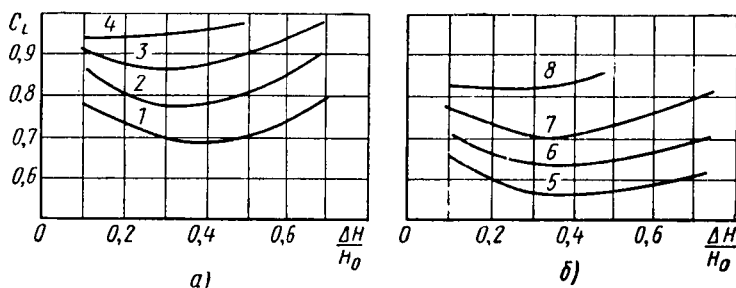


Рис. 94. Зависимость удлинения при протяжке от степени обжата:

a — при $\frac{B_0}{H_0} = 1,0$; b — при $\frac{B_0}{H_0} = 0,5$; кривые соответствуют значениям $\frac{r}{B_0}$:

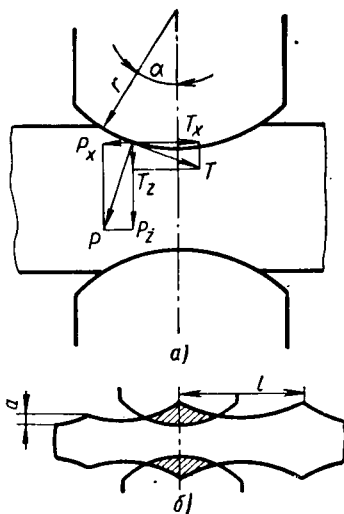
r/B_0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,5
Кривые	4	3	и 8	2	7	1	6
							5

случаях удлинение больше уширения (поскольку $C_L > 0,5$). Большинство кривых имеет минимум при высотном обжате 30—50%, что свидетельствует об относительном уменьшении удлинения заготовки. Дальнейшее увеличение обжата удлиняет заготовку при протяжке. Такой характер кривых, по-видимому, объясняется переменным соотношением между тормозящими и контактными силами трения T_x , действующими против направления протяжки и горизонтальными составляющими P_x (от внешних сил P), способствующими протяжке (рис. 95, а).

Между степенью обжата, углом α (см. рис. 92) и радиусом выпуклости бойка r установлена зависимость

$$\Delta H = 2r (1 - \cos \alpha)$$

Рис. 95. Схема действия сил (а) и обжатия выступов (б) при протяжке выпуклыми бойками



или

$$\varepsilon_{0H} = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{2r(1 - \cos \alpha)}{H_0}.$$

По углу захвата и приведенной выше формуле определяют ε_{0H} при обжатии выступов, образовавшихся после первого прохода (рис. 95, б). После определения ε_{0H} по графикам на рис. 94 и 95 находят C_L . Влияние температуры на соотношение между уширением и вытяжкой незначительно.

По известным величинам C_L и ε_{0H} можно рассчитать промежуточные размеры заготовки по проходам и требуемое число обжимов для получения заданных размеров квадрата или прямоугольника.

Средняя величина поперечного сечения заготовки при обжатии (см. рис. 92)

$$F_1 = \frac{\Delta V - C_L V_{cm}(H)}{l},$$

где $\Delta V = H_0 B_0 l$ — объем части заготовки, соответствующий длине деформируемого участка l .

Смещенный объем по высоте $V_{cm}(H)$ определяем по формуле (46). После подстановки в предыдущее равенство значений ΔV и $V_{cm}(H)$ получим

$$F_1 = F_0(1 - 0,66C_L\varepsilon_{0H}).$$

Длина заготовки после первого прохода

$$L_1 = \frac{V}{F_1} = \frac{L_0}{1 - 0,66C_L\varepsilon_{0H}}.$$

Число нажимов прессы

$$n_1 = \frac{L_1}{l}.$$

Для обжатия выступов после первого прохода потребуется $n' = n_1 + 1$ нажимов прессы.

Поперечное сечение заготовки после обжатия выступов (рис. 95, б)

$$F'_1 = \frac{\Delta V' - C'_L V'_{cm}(H)}{l},$$

где $\Delta V'$ — объем части заготовки, соответствующий длине l ; C'_L — относительный логарифмический коэффициент удлинения при обжатии выступов; $V'_{см(H)}$ — смещенный объем по высоте при обжатии выступов;

$$\Delta V' = H_0 B_0 l_0 - 2 \frac{2}{3} C_L \frac{\Delta H}{2} B_0 l = H_0 B_0 l - C_L \frac{2}{3} \varepsilon_{0H} H_0 B_0 l;$$

$$V'_{см(H)} = 2 \frac{\Delta H}{2} l B_0 - 2 \frac{2}{3} \frac{\Delta H}{2} l B_0 - 4a \frac{l}{2} B_0 + 4 \frac{2}{3} a \frac{l}{2} B_0.$$

Величина $a \approx 0,3 \frac{\Delta H}{2}$ получена по экспериментальным замерам.

После преобразования

$$V_{см(H)} = 0,24 l \varepsilon_{0H} H_0 B_0.$$

Действительный объем обжимаемых выступов немного больше, но эта неточность на результаты расчетов не влияет.

После подстановки значений $\Delta V'$ и $V'_{см(H)}$ в выражение для F'_1 получим

$$F'_1 = F_0 [1 - \varepsilon_{0H} (0,66 C_L - 0,23 C'_L)].$$

Если принять $C'_L = C_L$ вследствие малой разницы между ними, то

$$F'_1 = F_0 (1 - 0,9 C_L \varepsilon_{0H}).$$

Длина заготовки после обжима выступов

$$L'_1 = \frac{V}{F_1} = \frac{L_0}{1 - 0,9 C_L \varepsilon_{0H}}.$$

Средняя высота заготовки

$$H'_1 = H_0 (1 - 0,85 \varepsilon_{0H}).$$

Средняя ширина заготовки

$$B'_1 = \frac{F'_1}{H'_1} = B_0 \frac{1 - 0,9 C_L \varepsilon_{0H}}{1 - 0,85 \varepsilon_{0H}}.$$

Размеры заготовки при следующих проходах определяют по выведенным формулам, но вместо H_0 , B_0 и F_0 подставляют соответственно H'_1 , H'_2 , ..., B'_1 , B'_2 , ... и F'_1 , F'_2 , ...

Общее число нажимов пресса за всю операцию протяжки до заданных размеров определяется как сумма нажимов за каждый проход:

$$n = n_1 + n'_1 + n_2 + n'_2 + n_3 + \dots + n_n + n'_n.$$

Инструмент для протяжки. Для протяжки применяют закрепляемый инструмент — бойки. Молотовые и прессовые бойки отличаются друг от друга размерами и способом крепления.

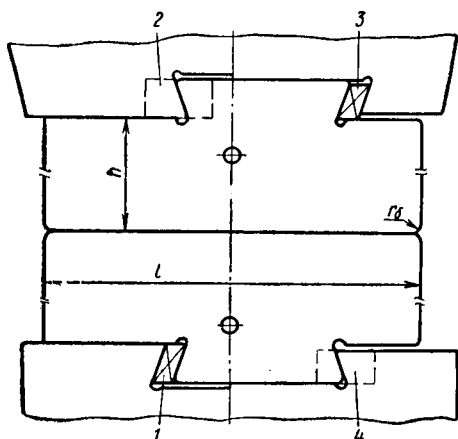


Рис. 96. Молотовые бойки

Масса падающих частей пневматического молота, кг	Размеры зеркала бойков, мм		Масса падающих частей паровоздушного молота, кг	Размеры зеркала бойков, мм	
	длина	ширина		длина	ширина
150	200	85	1000	410	230
250	225	90	1500	470	260
400	265	100	2000	520	290
560	300	110	3000	590	330
750	345	130	4000	650	370
1000	390	150	5000	710	400

Молотовые бойки (рис. 96) обычно изготовляют монолитными (не составными) и закрепляют клиньями 1 и 3 и сухарями 2 и 4. Это единственное надежное крепление в условиях ударных нагрузок. На рис. 96 показан нестандартный (левая часть) и стандартный (правая часть) варианты крепления. По форме они отличаются от плоских бойков наличием выреза или выпуклости. Нестандартное крепление иногда применяют при ковке труднодеформируемых сплавов. Особенности этого варианта крепления заключаются в следующем. Бойки опираются на бабу (верхний) и подушку или шабот молота (нижний) широкими заплечиками, в связи с чем хвостовик в форме ласточкина хвоста выполняют относительно узким. При стандартном креплении бойки имеют опору на хвостовик, в связи с чем хвостовик выполняют достаточно широким, а заплечики узкими.

Протягивают на универсальных плоских бойках большой ширины (пригодных и для других операций, например для осадки) и на бойках меньшей ширины — специализированных протяжных бойках. Чтобы избежать рассекания волокон металла, радиус r_6 рабочей кромки бойка принимают равным $\sim 0,1b$ (b — ширина бойка).

Для протяжки применяют следующие варианты бойков: плоские (для протяжки на квадрат и полосу); верхний плоский, нижний вырезной, оба вырезных (для протяжки на круг) и оба выпуклых (для предварительной протяжки). Для протяжки мелких заготовок вместо вырезных бойков на молотах применяют обжимки (струбцинки), представляющие собой подкладные вырезные бойки, соединенные пружиняще изогнутым прутком, который служит одновременно державкой и разводит части обжимки после каждого удара по ним бойка.

Прессовые бойки (рис. 97) крепят к столу (нижний) и траверсе пресса (верхний) с помощью болтов (рис. 97, а) и реже — клином

по ласточкину хвосту. Для крупных прессов и штампов больших габаритных размеров применяют комбинированное клино-болтовое крепление. При работе на прессах хорошо зарекомендовала себя сборная (составная) конструкция бойков. Плоские бойки иногда изготовляют составными. Это позволяет заменять изношенную небольшую часть бойков; кроме того, создаются удобства при транспортировании, расширяются возможности специализации инструмента, который делается быстросменным. Боек крепят к столу пресса болтами, а его вставку (плоская или вырезная) — клином. Крупные вырезные бойки (рис. 97, б) имеют вставки, состоящие обычно из двух частей. В данном случае ромбическая

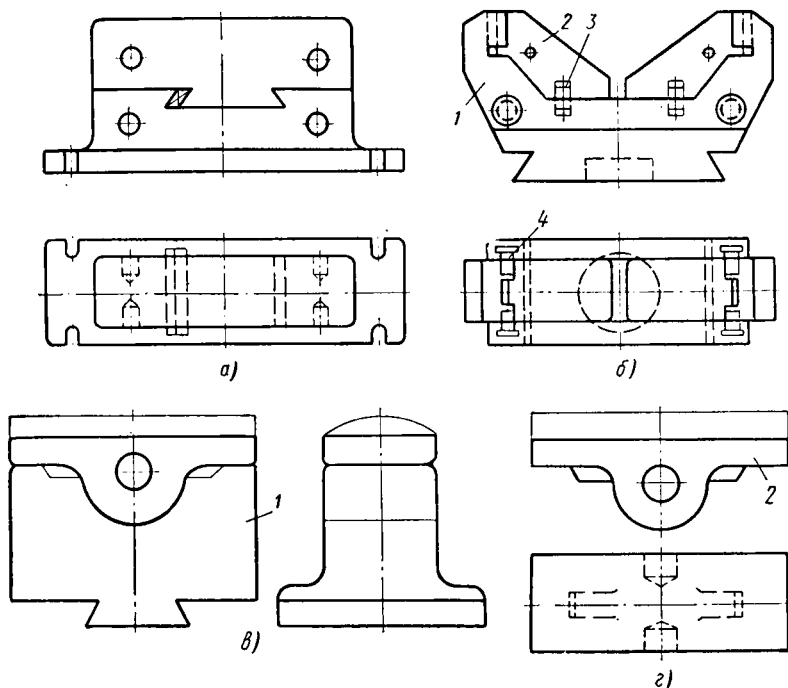


Рис. 97. Прессовые бойки

Усилие пресса, МН	Ширина бойка, мм	Длина бойка, мм	Радиус закругления рабочей кромки, мм
5	180—200	500—750	10
10	250—300	800—1100	12
20	360—450	1300—1560	18
30	450—520	1500—1700	22
40	500—600	1700—1900	26
50	550—700	1900—2100	32
60	620—750	2100—2300	38
80	700—850	2500—2700	45
100	800—1000	2800—3000	55
150	1000—1200	3000—3300	80

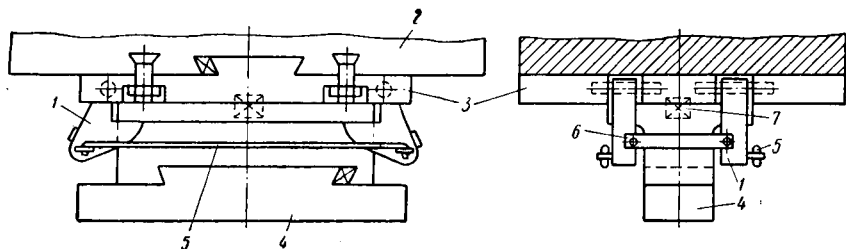


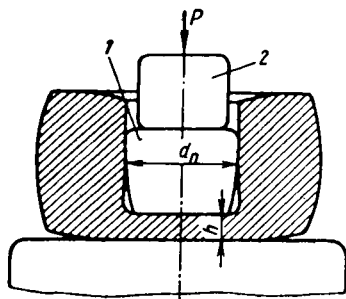
Рис. 98. Конструкция верхнего узкого подвешного бойка

вставка состоит из двух вкладышей, вставляемых и закрепляемых в основании бойка 1 порознь. Выступами вкладыши 2 входят в гнезда основания бойка и удерживаются от горизонтального смещения шпильками 3, работающими на срез. Цапфы 4 служат для транспортирования тяжелых вкладышей кранами. Если при ковке преобладает протяжка в вырезном бойке, то выемка для вкладышей является рабочей частью (рис. 97, в), а вкладыш (рис. 97, г) предназначен для превращения вырезного бойка в плоский. При необходимости могут быть запасные накладки с выпуклой поверхностью (рис. 97, в, г). Такие накладки можно даже не закреплять, так как во время работы они прижимаются к выемке в основании бойка не только собственной массой, но и массой заготовки.

Размеры прессовых бойков пока не нормализованы, но нормализованы на большинстве заводов. Ширину вырезных бойков молотов и прессов принимают на 25—30% больше ширины протяжных плоских бойков для получения возможности работать с увеличенными подачами в условиях ограниченного уширения. Рабочие кромки должны быть скруглены относительно большим радиусом. Практики считают, что радиус скругления должен составлять 0,3—0,5 величины обжатия при протяжке (в зависимости от типоразмера пресса это составляет 18—80 мм), тогда нет опасности быстрого износа (оплывания) рабочей кромки, перерезания волокна в проковываемом металле и образования заковов вследствие резкого перехода от одного размера сечения к другому. Основания бойков изготовляют обычно из углеродистой стали (например, из стали 45). Вкладыши могут быть изготовлены из легированной стали, при обработке труднодеформируемых сплавов — из высоколегированной стали.

Во многих случаях необходимо применять верхние узкие бойки (для прожима узких выемок, при раскатке, обжатии подстуженного слитка и т. д.). Для этого используют подвесные быстросменные бойки. Усовершенствованная конструкция верхнего узкого бойка приведена на рис. 98. Плиту 3 закрепляют на подвижной поперечине 2 прессы клином с болтами. Для того чтобы не снимать плиту после осадки, на ней для закрепления ковочного

Рис. 99. Прошивка сплошным прошивнем



бойка 4 имеются откидные захваты 1, попарно соединенные планками 6 и фиксируемые стопорным стержнем 5. Для центровки бойка 4 служит сухарь 7, входящий одной половиной в паз плиты 3, а другой — в боек.

Для быстрой смены бойков В. Т. Мещериным разработано устройство в виде обоймы для группы верхних бойков, которая обеспечивает их перестановку за непродолжительное время.

Прошивка (см. табл. 18). Операция прошивки сплошных заготовок называется часто открытой прошивкой и применяется при изготовлении поковок с осевым отверстием, если не используется полый слиток или трубная заготовка. Прошивку на молотах и прессах осуществляют аналогично. Для прошивки заготовку или предварительно осаженный ($\text{до } \frac{D_k}{H_k} \geq 1$) слиток устанавливают на плоский боек или плиту прибыльной стороной вниз (во избежание перемещения наиболее дефектного металла в тело поковки). В качестве инструмента применяют подкладные прошивни. Они бывают коническими сплошными и цилиндрическими полыми. Во избежание разностенности и обеспечения концентричности отверстия при прошивке необходимо соблюсти ряд условий. Кроме требований к форме исходной заготовки и равномерного симметричного прогрева металла большое значение придать правильной центральной установке прошивня. Поскольку открытую прошивку ведут при свободной установке заготовки и инструмента, необходимо обеспечить их соосность.

Хорошо себя зарекомендовал следующий способ.

На установленную между бойками заготовку накладывают шаблон по размеру заготовки (из листового металла) с центральным отверстием, соответствующим размеру прошивня. Через это отверстие на торец заготовки насыпают некоторое количество молотого угля и удаляют шаблон. Оставшийся на торце заготовки слой угля служит для относительно точного центрального размещения прошивня и в то же время является смазкой, облегчающей внедрение прошивня в тело заготовки при надавливании на него верхним бойком.

На рис. 99 показана прошивка коническим прошивнем. После погружения прошивня 1 до уровня торца заготовки на него устанавливают надставки 2, которые внедряют прошивень на 80—90% от высоты заготовки, при этом образуется удаляемая перемычка толщиной h . Вначале происходит утяжка металла заготовки смежно с выходным отверстием; в конце прошивки нижний край заготовки немного приподнимается по периферии вследствие

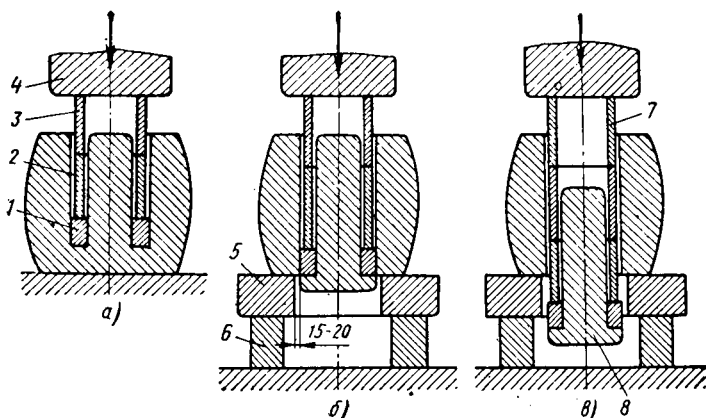


Рис. 100. Прошивка полым прошивнем:

1 — прошивень; 2 — первая наставка; 3 — вторая наставка; 4 — боек;
5 — кольцо; 6 — подставка; 7 — третья наставка; 8 — отход

радиального течения тонкого слоя металла между прошивнем и нижним торцом заготовки. При слишком тонкой перемычке радиальные деформации могут быть настолько большими, что металл отстает от нижней части боковой поверхности прошивня.

Затем заготовку кантуют на 180° , немного обжимают, после чего ее дно пробивают другим прошивнем (его устанавливают тупым концом к металлу). Величиной, характеризующей операцию прошивки, является отношение диаметра прошивня к диаметру заготовки $\frac{d_{\pi}}{D_0}$, которое во избежание непредусмотренной осадки в начале процесса не должно превышать 0,5—0,6, при этом площадь, накрываемая прошивнем, составляет 25—36%. Если обозначить сопротивление внедрению прошивня в металл $\sigma_{\text{вн}}$, то в начале прошивки без осадки необходимо обеспечить следующее соотношение:

$$\frac{\pi D_0^2}{4} \sigma_r > \frac{\pi d_{\pi}^2}{4} \sigma_{\text{вн}} \quad \text{или} \quad \frac{d_{\pi}}{D_0} < \sqrt{\frac{\sigma_r}{\sigma_{\text{вн}}}},$$

откуда

$$\frac{d_{\pi}}{D_0} = (0,5 \div 0,6) \sigma_{\text{вн}} < (3 \div 4) \sigma_r.$$

Прошивку полым прошивнем применяют для получения полых поковок, когда необходимо удалить менее качественную сердцевину слитка (рис. 100). При прошивке полым прошивнем можно получить относительно больший размер отверстий без осадки заготовки, чем при прошивке сплошным прошивнем. Так как прошивка чаще всего является операцией промежуточной, то большое значение имеет качество прошитого отверстия и его соосность с заготовкой. При работе с крупными слитками их предвари-

тельно осаживают до $\frac{D_k}{H_k} \geq 0,8 \div 1$, увеличивая диаметр и уменьшая высоту заготовки перед прошивкой. Это упрощает прошивку и приводит к уменьшению отходов.

При использовании полых прошивней применяют те же приемы, что и при использовании сплошных. Вначале в заготовку вдавливают прошивень, а затем с помощью полых наставок добиваются глубокой прошивки (рис. 100, а), которая заканчивается (рис. 100, б, в) после установки заготовки на кольцо или плиту. Наставки входят в отверстие над прошивнем с двусторонним зазором во избежание потерь на трение, разогрева и трудностей, связанных с удалением из них отхода. Грибовидный отход по длине равен (или больше на 10%) высоте заготовки, поэтому объем его получается значительным: 10—15% от массы заготовки и составляет в некоторых случаях десятки тонн металла. Применение этого способа прошивки целесообразно, если необходимо удалить некачественную сердцевину слитка, что важно для таких поковок, как, например, цельнотянутые котлы, орудийные стволы и т. п. На заводах ПНР применяют жесткие подпорки, подкладываемые под будущий отход, а прошивают на кольце 5, тогда прошивень 1 срезает кольцевой отход и отделяет отход 8 цилиндрической формы. Предельные диаметры прошиваемых отверстий для прессовых поковок регламентируются ГОСТ 7062—67. При прошивке полым прошивнем прибыльная сторона слитка должна быть внизу.

После прошивки отверстий часто следует либо раскатка заготовки с увеличением диаметра, либо протяжка на оправке с увеличением длины полой заготовки, либо последовательно обе эти операции в зависимости от формы поковок.

Прошивни (сплошные, полые, рис. 101, а) изготавливают из стали с повышенным содержанием углерода, например из стали У7 или из штамповой стали 5ХНВ, так как они работают в тяжелых усло-

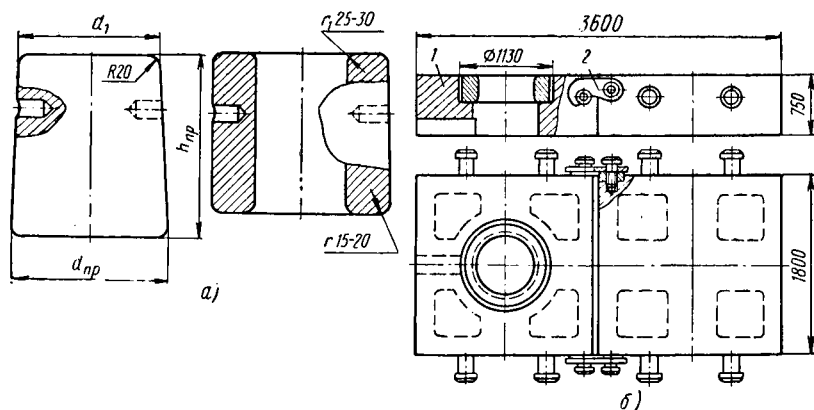


Рис. 101. Инструмент для прошивки:

а — прошивни; б — сдвоенные плоские плиты

виях. Надставки изготовляют из среднеуглеродистой стали. Крупные прошивки (для образования отверстий диаметром 200—500 мм) изготовляют из стали 5ХНВ. Твердость таких прошивней достигает $HB\ 363\text{—}415$. Диаметр сплошных прошивней 250, 320, 400, 450, 500 мм; высота $h_{пр}$ соответственно 150—450, 200—500, 200—400, 200—500, 250—500 мм. Диаметр d_1 на 20—50 мм меньше диаметра $d_{пр}$. Диаметр полых прошивней 400—700 мм и высота 320—400 мм. Рабочие кромки скруглены (у крупных прошивней $r = 20$ мм). Два или четыре транспортировочных отверстия, расположенных перпендикулярно к боковой поверхности прошивня, облегчают его установку. При изготовлении небольших поковок заготовки прошивают непосредственно в процессековки с одного нагрева. При прошивке крупных заготовок применяют комбинированные плоские и с отверстием нижние плиты (рис. 101, б), передвигаемые подвижным столом прессы. Плиты крепят крюками 2. В плите с отверстием 1 имеется вставное кольцо из легированной стали.

Если толщина прошиваемой заготовки менее 50—60 мм, то вместо прошивки может быть применена пробивка отверстия пуансоном в подкладном кольце. В этом случае получают значительный отход, так как он имеет размеры отверстия. Тонкие заготовки пробивают двумя режущими кромками: одна на кольце, другая на пуансоне.

Более толстые заготовки пробивают инструментом с одной режущей кромкой. В отличие от прошивней, пластически внедряющихся в заготовку с ее радиальной раздачей, в описываемом случае инструмент в виде дорна с заостренной прямоугольной кромкой пробивает заготовку при деформации сдвига. По этой схеме отверстия в заготовках получают, внедряя дорн с одной стороны заготовки, расположенной на кольце, или с двух сторон с поворотом заготовки на 180° в плоскости ее оси, если заготовка расположена на сплошной плите. Для установления примерного соотношения между толщиной отхода и диаметром дорна используем простейший расчет, пренебрегая силами трения. При односторонней пробивке металла

$$\pi d h' \tau_{сд} \leq \frac{\pi d^2}{4} \sigma_{в},$$

где d — диаметр дорна или образуемого отверстия; h' — толщина отхода.

Отсюда, принимая по экспериментальным данным $\tau_{сд} = 0,8\sigma_{в}$, получим

$$h' \leq 0,3d.$$

Толщина отхода в рассмотренных условиях не превышает 0,3 диаметра отверстия; если высота заготовки больше этой величины, то следует применить более сложную двустороннюю пробивку заготовки (с поворотом после первой пробивки и окончательную

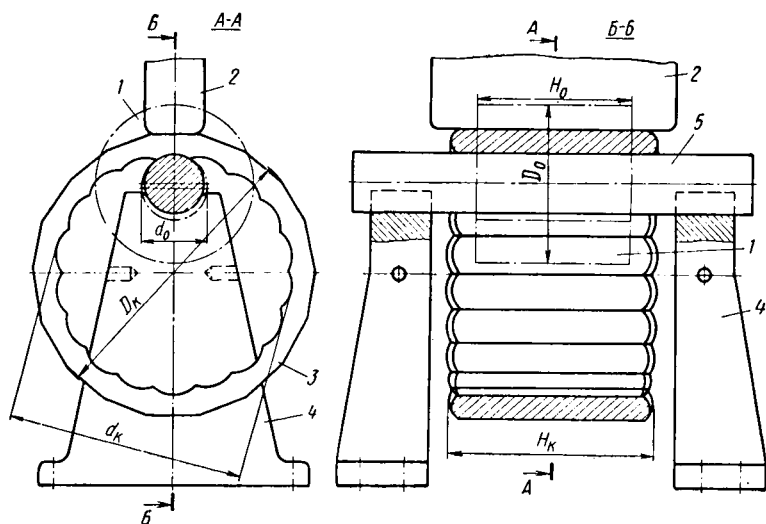


Рис. 102. Раскатка на оправке

пробивку с противоположной стороны). Толщина отхода при этом меньше, чем при односторонней пробивке и составляет $(0,2—0,25) d$.

Раскатка заготовок (см. табл. 18). Эту операцию применяют при изготовлении поковок типа колец, бандажей, фланцев, зубчатых венцов, различных обечаек и других деталей, имеющих стенки небольшой толщины по сравнению с диаметром отверстия. Чем меньше диаметр прошитого отверстия, тем меньше отход металла, объем же работы при раскатке соответственно увеличивается.

Операцию раскатки можно представить как протяжку заготовки, концы которой соединены между собой, при этом длина средней окружности кольцевой заготовки является условной длиной протягиваемой заготовки, ширина кольца — соответственно шириной, толщина — высотой заготовки. Для раскатки (рис. 102) прошитую заготовку 1 (указана штрих-пунктирной линией) подвешивают с оправкой 5 на стойки 4, при этом кольцевую заготовку по высоте сепки обжимают между верхним узким плоским бойком 2 и круглой или овальной оправкой 5. Заготовку при раскатке устанавливают так, что длинная сторона бойка совпадает с шириной кольцевой заготовки.

При вращательном движении после каждого обжатия диаметр заготовки постепенно увеличивается, незначительно увеличивается и ширина; при этом сама заготовка утоняется. После получения при раскатке кольца 3 размеров D_K , d_K и H_K сглаживают неровности на его поверхности, и поковка изготовлена. Трудность технологического процесса раскатки состоит в том, что к моменту достижения необходимого внутреннего диаметра поковки она

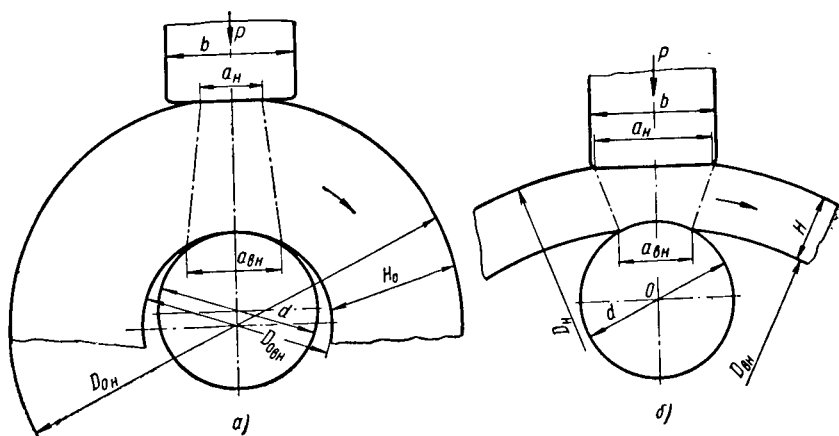


Рис. 103. Схема очагов деформации в начале (а) и в конце (б) раскатки

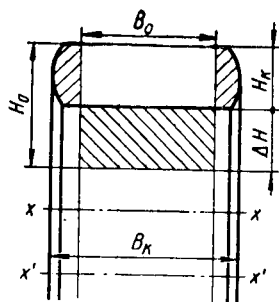
должна иметь наружный диаметр и ширину заданных размеров. Если при необходимом внутреннем диаметре толщина поковки меньше заданной, то поковку приходится дополнительно осаживать, что сопряжено с переналадкой инструмента или переносом обработки на другое рабочее место. Если же толщина кольца получается больше заданной, то, следовательно, ширина поковки недостаточная, т. е. технологический процесс был проведен неправильно. Операция раскатки сложнее обычной протяжки, так как должна проходить без кантовок перпендикулярно оси кольцевой заготовки, т. е. как процесс непрерывно следующих друг за другом переходов за несколько проходов (каждый оборот заготовки по существу составляет один проход по периметру кольца).

Условия обжатия металла и закономерности увеличения площади контакта на единицу обжатия неодинаковы со стороны бойка и оправки. В начале операции, когда диаметр отверстия заготовки небольшой, площадь контакта с заготовкой у оправки больше, чем у бойка, так как $a_{вн} > a_n$. Поэтому очаг деформации имеет расширяющийся книзу профиль, удельные усилия со стороны бойка шириной b больше, чем со стороны оправки (рис. 103, а). По этой же причине обжатие металла со стороны бойка будет большим, чем со стороны оправки. Однако с увеличением обжатия, особенно, когда диаметр поковки уже достаточно большой (рис. 103, б), наблюдается обратное явление: очаг деформации становится сужающимся книзу, так как $a_{вн} < a_n$, а удельные усилия, так же как и обжатия, больше со стороны оправки.

Для интенсивной раскатки без значительного уширения необходимо применять узкий боек (см. рис. 98). В этом случае контур контакта имеет форму прямоугольника с большой стороной вдоль ширины кольцевой заготовки.

Рис. 104. Схема и расчет раскатки на оправке:

$x-x$ — положение оси кольца до раскатки; $x'-x'$ — после раскатки



Расчет деформаций при раскатке, основанный на экспериментальном моделировании процесса, выполнен И. М. Баясным.

Искомая величина коэффициента уширения при данной величине коэффициента трения является функцией ряда относительных величин, связанных с диаметром d оправки и величиной подачи a_0 (a_n относительно бойка, $a_{вн}$ — относительно оправки):

$$f = \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{кH}} = E \left(\frac{\Delta H}{d}; \frac{H_0}{d}; \frac{B_0}{d}; a \right).$$

Исходные размеры заготовки и конечные размеры поковки приведены на рис. 104.

Экспериментальное исследование указанной зависимости показало, что с увеличением $\frac{\Delta H}{d}$ и с уменьшением $\frac{B_0}{d}$ уширение возрастает, но уменьшается с уменьшением $\frac{H_0}{d}$.

В зависимости от условий раскатки на боковой поверхности может наблюдаться двойное или одинарное бочкообразование. Двойное бочкообразование имеет место при $\frac{H_0}{B_0} > 2 \div 2,1$ или $\frac{H_0}{a_n} > 2 \div 2,1$. Первое из этих условий соответствует раскатке узких колец, второе — раскатке заготовки с очень малыми обжа-тиями.

Уширение иногда рассчитывают за каждый оборот заготовки. После суммирования результатов расчетов по всем оборотам получают величину полного уширения. Этот метод расчета трудоемок. Для упрощения расчета обжатия за один оборот представляют в виде ряда последовательных значений отношения

$$\left(\frac{\Delta H}{d} \right)_i = C_i,$$

где C_i — коэффициент, зависящий от порядкового номера оборота заготовки.

В табл. 22 приведены значения C_i в зависимости от порядкового номера оборота. При оборотах, больших девяти, величина C_i остается в пределах 0,055—0,045.

Для определения величины $\Delta H = dC_i$ диаметр оправки следует умножить на коэффициент C_i .

*

К определению ΔH

Относительная величина обжатия $\left(\frac{\Delta H}{d}\right)_i = C_i$	Значения C_i								
	Порядковый номер оборота								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальная	0,160	0,105	0,100	0,082	0,072	0,068	0,060	0,055	0,055
Минимальная	0,120	0,095	0,09	0,078	0,065	0,060	0,055	0,05	0,045

По данным расчетов были получены упрощенные формулы для определения уширения за всю операцию раскатки:
при ковке под прессами

$$\Delta B = K_n \Delta H \sqrt[3]{\frac{d}{B_{cp}}} \sqrt{\frac{d_{np}}{H_0}}, \quad (48)$$

где d_{np} — диаметр прошивня, равный $(0,33—0,35) D_0$;
при ковке под молотами

$$\Delta B = (0,9 \div 0,8) K_m \Delta H \sqrt{\frac{d}{B_{cp}}}. \quad (48')$$

В этих формулах (см. рис. 104):

$$B_{cp} = \frac{B_0 + B_k}{2}; \quad \Delta H = H_0 - H_k;$$

$$K_n = \frac{0,37 + 0,5\epsilon_{0H} (2 - \epsilon_{0H}) 0,05 \frac{H_0}{B_{cp}}}{1 + 0,1 \frac{B_{cp}}{H_0}} \times$$

$$\times \left[1,1 \pm 0,2 \left(\frac{H_0}{B_{cp}} - \frac{B_{cp}}{H_0} \right) \right] \frac{2 \Delta H}{H_0}; \quad (49)$$

$$K_m = \frac{0,37 + 0,5\epsilon_{0H} (2 - \epsilon_{0H}) 0,05 \frac{H_0}{B_{cp}}}{1 - 0,1 \frac{B_{cp}}{H_0}} \times$$

$$\times \left[1 - 0,05 \left(\frac{B_{cp}}{H_0} \right)^2 \right]. \quad (50)$$

В формуле для определения K_n в квадратных скобках знак плюс принимают при $\frac{H_0}{B_{cp}} \leq 1$, знак минус — при $\frac{H_0}{B_{cp}} > 1$. Для определения уширения предварительно задаются приближенной его величиной $\Delta B'$.

Рис. 105. График для определения показателей уширения при раскатке (Уралмашзавод)

Для определения размеров исходной заготовки после прошивки приведен график (рис. 105), разработанный на Уралмашзаводе дляковки колец под молотами. По графику определяют показатель уширения

$$\beta = \frac{B_k}{B_0}, \text{ а затем } B_0 = B_k : \beta.$$

Этот размер является высотой прошитой заготовки, при установлении которой необходимо учитывать припуск на отделку, т. е. на исправление волнистости торца колец, получающейся вследствие неравномерности уширения при раскатке. Обычно припуск принимают равным $0,05B_0$. По табл. 23 можно выбрать приближенную величину уширения $\Delta B'$.

Диаметр прошитой заготовки, если известна ее толщина, определяют из условия равенства объемов кольца и прошитой заготовки с учетом угара металла.

Под прессом усилием 100 МН бандажи куют за один нагрев с совмещением операций осадки, прошивки и раскатки до заданных размеров поковки. Кольца шириной 200 мм и диаметрами 980 и 820 мм (толщина стенки 80 мм) раскатывают за девять оборотов с обжатием от 90 мм (на первом обороте) до 35 мм (на последнем обороте). При ковке на прессах оправками для раскатки служат

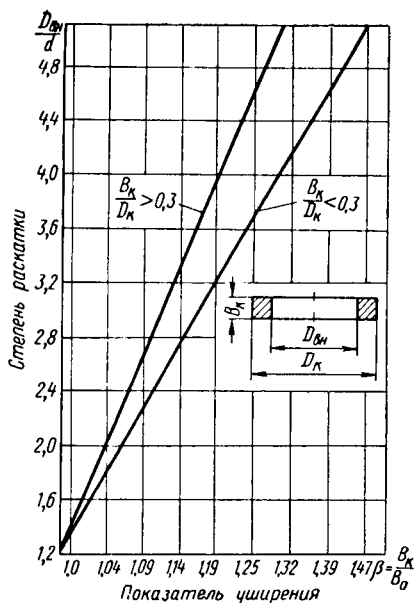


Таблица 23

К выбору величины уширения

Внутренний диаметр $D_{вн}$ поковки, мм	Уширение $\Delta B'$, мм	Внутренний диаметр $D_{вн}$ поковки, мм	Уширение $\Delta B'$, мм
500—800	15—32	2600—2900	150—190
800—1100	24—40	2900—3200	170—210
1100—1300	30—50	3200—3500	190—230
1300—1500	40—60	3500—3800	210—250
1500—1700	50—70	3800—4100	240—290
1700—1900	60—80	4100—4400	270—320
1900—2100	70—110	4400—4700	290—340
2100—2300	110—140	4700—5000	310—360
2300—2600	130—160	—	—

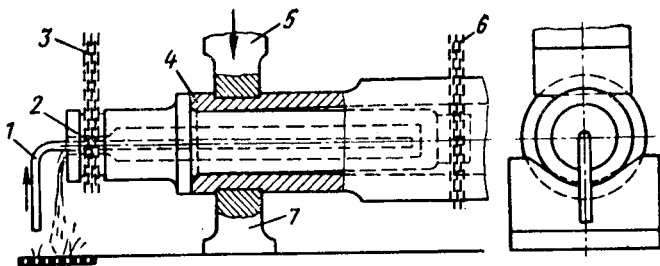


Рис. 106. Протяжка на оправке:

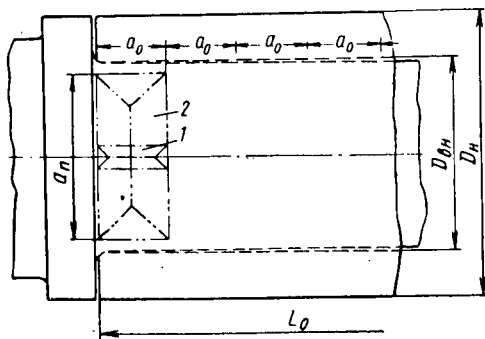
- 1 — труба для подачи охлаждающей жидкости в полую оправку;
 2 — оправка; 3 — цепь заднего крана; 4 — полая заготовка; 5 — верхний боек пресса; 6 — цепь переднего крана; 7 — нижний боек

полукруглые или круглые стержни с отверстием для охлаждения водой. Диаметр оправки должен быть на 5—10% меньше диаметра отверстия заготовки.

В. А. Тюриным с успехом опробована раскатка на оправке вырезным ромбическим бойком. При этом повысились производительность и качество поковок.

Протяжка на оправке (см. табл. 18). Протяжке заготовки в длину на круглоконической оправке подвергают предварительно прошитые круглые заготовки. Если при раскатке увеличивают диаметр полой заготовки, то при протяжке на оправке увеличивают длину такой заготовки. Полуую заготовку, надетую на оправку вплотную к ее бурту, куют с кантовкой по кругу и продольными подачами. Ковку начинают со стороны более толстого конца оправки кольцевыми участками при вращательном движении заготовки вместе с оправкой. Затем следует продольная подача и обрабатывается следующий участок аналогично предыдущему (рис. 106). Известны и другие варианты протяжки (см. рис. 86).

Эту операцию применяют для изготовления полых деталей большой длины — котельных барабанов, полых колонн, оружейных стволов и т. д. В процессе протяжки (рис. 107) заготовка значительно удлиняется и уменьшается по наружному диаметру $D_{\text{н}}$,



тогда как внутренний диаметр $D_{\text{вн}}$ заготовки остается практически равным исходному (после прошивки) или немного уменьшается (до размера оправки). Оправки сплошные или имеют отвер-

Рис. 107. Схема очагов деформации и линий раздела при протяжке на оправке верхним плоским бойком при малом (1) и большом (2) обжатиях

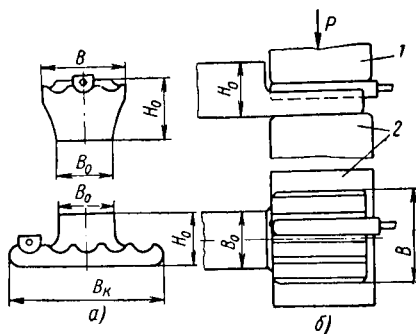
ствия для охлаждения водой, упорный бурт и небольшой уклон (1 : 100) для облегчения удаления поковки. При протяжке на оправке используют вырезные, комбинированные и реже — плоские бойки. При протяжке на оправке соответственно типу бойков возникает одновременно четыре, три или два очага деформации, что отличает эту операцию от других. Соответственно двум и более очагам деформации при вытяжке на оправке имеется минимум две пары контактных поверхностей, между которыми металл подвергается обжатию: под верхним бойком и оправкой, над нижним бойком и оправкой. Для преимущественного удлинения заготовки L_0 (т. е. бывшей высоты заготовки при прошивке) без увеличения ее диаметра необходимо совпадение направления наименьшего сопротивления течению металла с осью прошивной заготовки. Этому добиваются, применяя узкие бойки и устанавливая их большой стороной перпендикулярно оси заготовки. Однако в начальный момент обжатия образуется неблагоприятная форма очага деформации I в плане (указана штрих-пунктирными линиями), способствующая увеличению диаметра заготовки. При увеличении обжатия получается необходимая контактная прямоугольная площадка 2, большая сторона которой перпендикулярна оси заготовки (указана штриховыми линиями с двумя точками). Поэтому очень малыми обжатиями протягивать на оправке нельзя, так как вместо протяжки можно получить раскатку. Значительные обжатия, обеспечивающие большую величину поперечной подачи a_n и относительно небольшие осевые подачи a_o , способствуют быстрой протяжке. Расчет этой операции упрощается благодаря фиксированному размеру внутреннего диаметра $D_{вн}$ — диаметра поковки. При данном объеме заготовки достаточно контролировать только один размер поковки (наружный диаметр или длину), при этом остальные размеры выдерживаются автоматически.

В конце протяжки поковка может оказаться посаженной на оправку. Ослабить посадку можно небольшими обжатиями при большой осевой подаче, т. е. создавая форму очага деформации, способствующую увеличению диаметра. На практике используют и другие приемы. Например, подогревают поковку вместе с оправкой, а затем пропускают через ее осевое отверстие большое количество воды для охлаждения, что вызывает уменьшение диаметра оправки и облегчает снятие с нее поковки.

На прессах с подвижным столом для снятия поволок можно использовать бурт на оправке и какой-нибудь выступ на поковке; между ними помещают бойки (по обе стороны оправки) и движением стола пресса преодолевают силы трения, удерживающие поковку на оправке. Поскольку оправка имеет уклон, достаточно стронуть поковку с места посадки, как силы трения окажутся преодоленными. Еще один прием описан на стр. 247. Для уменьшения сил трения оправки должны быть без забоин, тщательно обработаны и покрыты термостойкой смазкой.

Рис. 108. Схема операции разгонки в ширину:

1 — верхний и 2 — нижний бойки



Разгонка (см. табл. 18). Эта операция предназначена для местного уширения заготовки без увеличения ее длины. Чаще всего разгонке подлежит часть заготовки, которая предварительно обжимается обычным плоским бойком, а затем при

помощи специального подкладного инструмента металл разгоняется в ширину (рис. 108). На рис. 108, а вверху показана начальная, а внизу — конечная стадии разгонки. На рис. 108, б дана в другой проекции промежуточная стадия. Обычно разгонке подвергают относительно низкие заготовки, поэтому разгоночный инструмент применяют для обжатия только одной стороны заготовки, тогда как другая сторона находится на большой поверхности плоского бойка. После разгонки деформированный участок обрабатывают плоскими бойками для сглаживания гребешков-выступов между соседними обжатиями.

Применяемый для разгонки подкладной инструмент может быть круглым, полукруглым, овальным и даже прямоугольным. На рис. 108 показан полукруглый инструмент для разгонки. Между длиной и поперечным размером инструмента выдерживается отношение в пределах 5—10, что обеспечивает преимущественное течение металла перпендикулярно длине инструмента. При отношениях, равных 3—4, удлинения ничтожно малы. Величины удельных усилий со стороны разгоночного инструмента и нижнего бойка на металл обратно пропорциональны площадям проекций соответствующих контактных поверхностей, поэтому обжатие при разгонке происходит в основном за счет деформации металла со стороны разгоночного инструмента. Если толщина заготовки значительная (см. верхнюю позицию рис. 108, а), то обжатия по высоте и уширение распространяются не на всю ее толщину. Если же заготовка настолько тонка (или предварительно обжата), что при разгонке за один проход инструмент погружается в заготовку не менее чем на 50% ее высоты, то деформация распространяется на всю толщину заготовки. При этом металл вначале деформируется только со стороны разгоночного инструмента под действием больших удельных сил. Объем физического очага деформации в этот период значительно меньше объема геометрического очага деформации.

На указанной стадии создаются условия для деформации и в остальной части геометрического очага деформации, что происходит под влиянием двух процессов:

1) вследствие некоторого изгиба заготовки боковые ее части приподнимаются и площадь контакта сокращается, это приводит к уменьшению разницы в удельных усилиях со стороны бойка и раскатки;

2) поперечные деформации, создающие растягивающие напряжения в еще не деформированном слое металла, облегчают его деформацию.

При разгонке в ширину общее уширение складывается из частных уширений при каждом обжатии данного прохода. Это происходит в результате направления подач поперек заготовки. Деформации при разгонке могут быть рассчитаны так же, как и при протяжке без кантовки. Протяжка без уширения и разгонка являются крайними случаями общего процесса высотного обжатия с разнонаправленными поперечными деформациями.

Выше была описана разгонка заготовки прямоугольной формы. Однако разгонку широко применяют также для заготовок круглой формы, например для уменьшения толщины и увеличения диаметра дисковых поковок, которые обычно имеют не участвующую в разгонке ступицу с отверстием или без него. Разгонку выполняют по кругу обычно вплотную к ступичной части поковки, причем используют плоский инструмент круглого и овального сечений (в зависимости от диаметров ступицы и самого диска), который должен быть специализированным. При ковке на молотах разгонка происходит при круговых подачах. На прессах устраивают поворотные механизмы для поворота верхнего бойка, что позволяет осуществлять разгонку без перемещения заготовки.

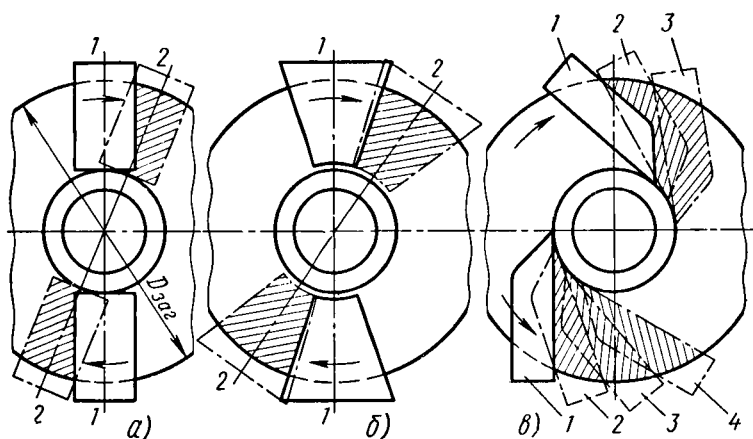


Рис. 109. Разгонка смежными обжатиями плоским бойком (а), вейерная разгонка (б) и разгонка бойками, расположенными по касательной к ступице диска (в)

1, 2 и т. д. — номера обжатия

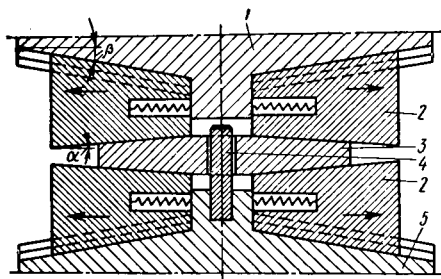


Рис. 110. Схема конструкции «плавающих бойков» для разгонки:

1—верхняя плита; 2—бойки; 3—поковка диска; 4—центрирующий стержень; 5—нижняя плита

Разгонка поля диска на прессе по схеме, показанной на рис. 109, а, происходит с перекрытием части очага деформации предыдущего обжатия.

Только при первом обжатии очаг деформации соответствует прямоугольной форме бойка, который имеет выточку для размещения в ней ступицы диска. О форме очага деформации при последующих обжатиях после поворота бойков на некоторый угол можно судить по заштрихованному участку. Изменяя ширину бойка и соответственно угол его поворота при разгонке, можно получить различные соотношения размеров очага деформации и интенсивность процесса разгонки. Очень широкий боек нецелесообразен из-за большой утяжки по ступице (уменьшения ее высоты). Чрезмерно узкий боек приводит к нежелательному изгибу полотна диска и не обеспечивает приемлемой производительности. Режим разгонки «крест на крест» (вместо последовательно смежных обжатий) характеризуется большим вспомогательным временем на увеличенные повороты бойка.

В специализированном производстве весьма технологична веерная разгонка дисков бойками, оконтуренными прямыми, проходящими через ось диска (рис. 109, б). Не менее перспективным является разгоночный инструмент, разработанный П. В. Камневым. Расположение бойка (рис. 109, в) по касательной линии к ступице обеспечивает разгонку без утяжки по ступице и без изгиба полотна. При направлении подач против часовой стрелки очаги деформации (см. штрихпунктир) имеют веерную форму, образованную касательными к контуру ступицы. Противоположное направление подач сопровождается образованием очагов более сложной формы. Варьируя формой бойков в плане и направлением подач, можно управлять течением металла при разгонке с преобладанием в нужном направлении сдвиговой или нормальной деформации.

Известна конструкция разгоночного инструмента в виде плавающих бойков (рис. 110). Как и при обычной разгонке, бойки расположены диаметрально, но каждый из них (верхний и нижний) состоит из двух частей, перемещающихся радиально от оси диска и растягивающих пружины (направления указаны стрелками). Угол α определяют по чертежу поковки, а угол β — конструктивно. При большом угле β скорость радиального движения бойков в процессе обжатий диска превысит скорость течения метал-

ла в этом же направлении и разгонка будет совершаться в условиях активного трения. В этом случае смазывать поковку и боек не следует. Если угол β мал (меньше угла трения), то разгонка совершается с трением сопротивляющегося действия и смазка обязательна. Деформация при разгонке плавающими бойками облегчается (усилия уменьшаются в 2 раза), напуски уменьшаются. Нежелательное увеличение отверстия диска может быть предотвращено водоохлаждением центрирующего стержня.

Образование уступов, выступов, выемок. Для точного распределения металла между отдельными частями поковки заготовку размечают (измерительным инструментом или по шаблонам). По размеченным местам наносят углубления, называемые засечками или наметками. Наметочный инструмент имеет вид круглых или угловых стержней. Намеченные углубления увеличивают до высоты уступа, выступа или выемки. Соответствующий инструмент называется пережимками (рис. 111). Профиль пережимок выбирают в соответствии с необходимым контуром уступов или выемок на поковке. Для получения одностороннего уступа (рис. 112, а) поступают так, как было указано выше, и затем обжимают металл до уровня углубления (на величину ΔH). Большая контактная площадь со стороны нижнего бойка обеспечивает низкие удельные усилия, и обжатие совершается только за счет действия верхнего бойка. Аналогично получают двусторонний уступ (рис. 112, б). В этом случае важно, чтобы деформация была одинаковой со стороны рабочей поверхности. Для получения выемки (рис. 112, в) ее размечают, кроме того, намечают в соответствующих местах заготовки углубления, между которыми металл затем обжимают. Здесь также требуется сосредоточение внешней силы в верхней части заготовки. Для этого под верхний боек подкладывают плоскую раскатку и этим добиваются преимущественной деформации металла в верхней части заготовки. Получение двух выемок с обеих сторон поковки показано на рис. 112, г.

Если на поковке необходимо получить выступ, то его получают из двух уступов, выполняемых по обе стороны относительно высту-

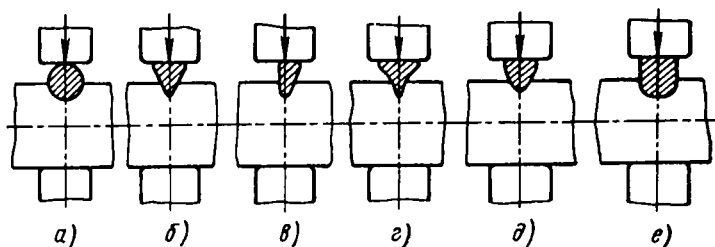


Рис. 111. Пережим заготовки и применяемый инструмент:

а — круглая раскатка; б — треугольная равнобедренная пережимка; в — прямоугольная пережимка; г — фасонная пережимка; д — пережимка с выпуклыми гранями; е — полуovalная пережимка

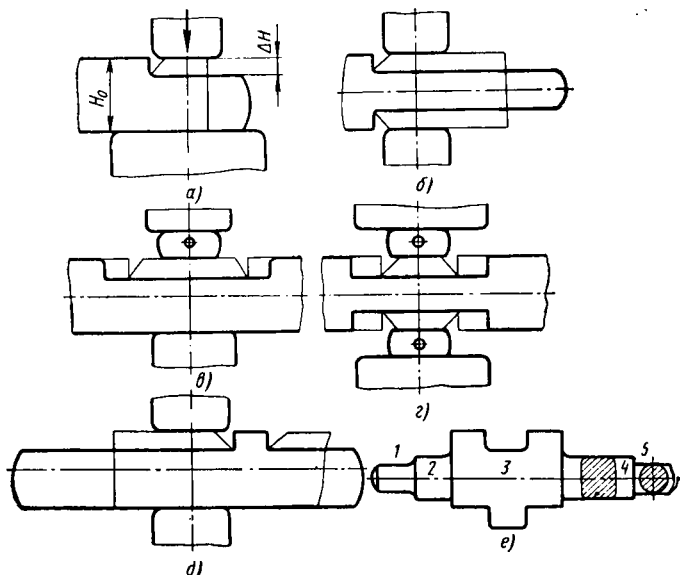


Рис. 112. Схемы операций образования уступов, выемок, выступов и их комбинаций

па (рис. 112, д). Аналогично получают двусторонний выступ. На рис. 112, е показана относительно сложная поковка, откованная в результате образования комбинации уступов, выступов и выемки, причем концы поковки при подкатке получили круглое сечение — участки 1 и 5; смежно с ними участки 2 и 4 — квадратное сечение при оттяжке; средний участок 3, на котором сверху находится выемка, а снизу — выступ, имеет прямоугольное сечение. Аналогично описанному можно получать поковки с двумя, тремя уступами, двойными выемками и выступами сложной формы.

Размеры и их соотношения для уступов и выемок регламентированы стандартами. Для молотовых поковок (ГОСТ 7829—70) уступы на концах поковок длиной более 15 мм и промежуточные уступы длиной более 10 мм куят без упрощения формы поковок (без напусков), если соответствующий размер выступа, прилегающего к рассматриваемому уступу, не менее 40 мм. Для прессовых поковок, согласно ГОСТ 7062—67, не предусматривается получение уступов и выемок менее 13 мм, если размер выступа, примыкающего к данному уступу, равен 200 мм и более. Выступы и бурты длиной более 45 и 30 мм соответственно куят без напусков, упрощающих чертеж поковки. Расчеты для образования уступов, выемок, выступов, буртов, фланцев и подобных элементов поковки основаны на положении о неизменности объема металла при деформации.

Передача металла (см. табл 18). Эта операция состоит в смещении одной части заготовки относительно другой, причем деформируется металл только в промежутке между ними (рис. 113). В результате передачи ось заготовки становится ступенчатой. Различают передачу металла в одной и двух параллельных плоскостях. При передаче в одной плоскости (рис. 113, а) после наметки и пережима заготовки смещают правую ее часть относительно левой, неподвижной в плоскости *I*. Если передачу осуществляют на прессе с подвижным столом, то сдвигают нижний боек относительно верхнего. При работе на молоте на нижний боек под заготовку помещают плоскую раскату или специальную подкладку. Геометрический очаг деформации как объем металла между контактными поверхностями инструмента здесь отсутствует. Физический очаг деформации очень мало развит и представляет собой незначительный объем металла в области сдвига волокон при подаче металла.

Передачу в двух плоскостях (рис. 113, б) выполняют аналогично передаче в одной плоскости, но между пережимами в плоскостях *I* и *II* размещается некоторый объем металла, который в основном и составляет физический очаг деформации. Образующаяся шейка обычно является будущей цапфой (например, при изготовлении кривошипных валов). Во время передачи длинный смещаемый конец заготовки нужно подвешивать на цепи с помощью крана и опускать его по ходу передачи. При отсутствии крана используют набор подкладок, которые при опускании конца заготовки последовательно удаляются. Чтобы избежать вредного действия

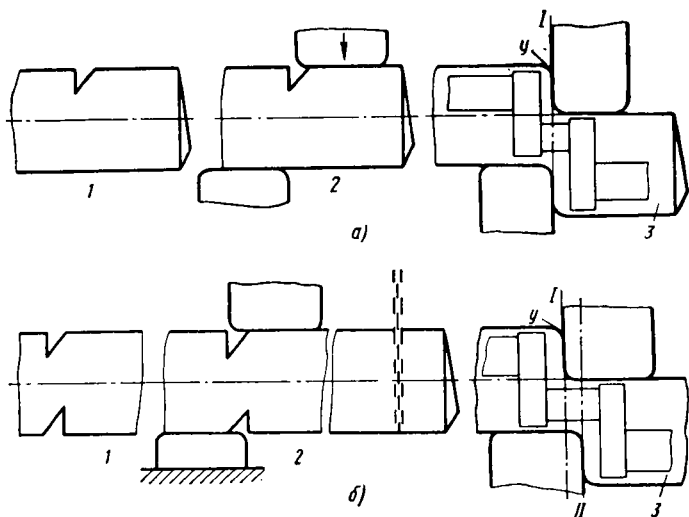


Рис. 113. Схема операции передачи металла:

1 — заготовка после наметки и пережима; 2 — заготовка на сдвинутом нижнем бойке; 3 — заготовка после передачи

перерезания волокон, наметку и пережим выполняют инструментом с большим радиусом закругления кромок. При передаче в двух и более плоскостях перерезание волокон маловероятно.

В процессе передачи металла происходит утяжка его в местах, обозначенных на рис. 113 буквой *y*. Для компенсации утяжки высоту заготовки приходится увеличивать по отношению к поковочному размеру на 15—25%. По окончании операции избыточный металл разгоняется, что дает возможность получать ребра поковки с небольшими радиусами закругления.

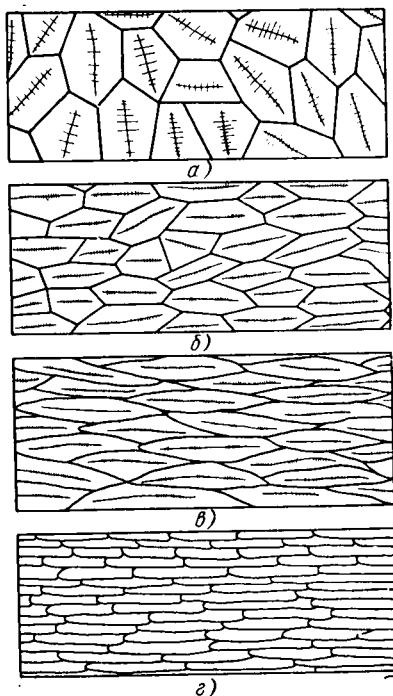
Гибка и другие операции (см. табл. 18). Операция гибки при ковке на молотах и прессах совершается между подкладными опорами. Эта операция не требует больших усилий и обычно осуществляется при пониженной температуре (850—950° С). В зоне растяжения при гибке образуется утяжина, для компенсации которой перед гибкой на заготовке выполняют соответствующее утолщение. Если этого не удается сделать, то после гибки поковку приходится дополнительно подправлять. В зоне сжатия могут образоваться складки, избежать которых можно при большом радиусе угла изгиба. Если этот радиус $\geq 0,5 H_0$, то длину заготовки L_0 при гибке рассчитывают по средней линии поковки. При меньшей толщине заготовки ее длину определяют как сумму прямолинейных участков поковки, при этом на каждый угол изгиба прибавляют по $0,25 H_0$. На обрезку концов поковки к длине заготовки прибавляют до $3 H_0$ в зависимости от радиуса гибки. Более подробно процесс гибки рассмотрен в гл. VII.

Кроме описанных в кузнечном производстве применяют и другие операции: например, скручивание (при производстве коленчатых валов), окупольвание (при изготовлении резервуаров), сварка и некоторые другие. Значительное число операций совершается в подкладных штампах. Большинство из них рассмотрены при описании примеров технологического процессаковки.

3. Влияниековки на металл

В предыдущем разделе были рассмотрены возможностиковки с точки зрения преобразования простой формы заготовок в поковки сложных форм. Ниже кратко рассмотрены результаты воздействияковки на структуру металла. Формально при ковке слитков они сводятся к преобразованию дендритной структуры литого металла в волокнистую структуру кованого металла. Однако более глубокий анализ результатовковки требует учета особенностей химического состава проковываемого металла и его исходной структуры, температурных условийковки, режима деформации, который характеризуется величиной, скоростью и дробностью обжатий, а также видом операции и формой очага деформации. Учитывая, что студенты ознакомились с основами горячей и полугорячей (теплой) деформациями из курсов «Теория обработки металлов давлением» и «Теория процессов обработки металлов давле-

Рис. 114. Схема перехода литой дендритной структуры в волокнистую в четыре стадии (а—г) по мере увеличения уковки (направление наибольшей положительной деформации — горизонтальное)



нием», ниже рассмотрены результатыковки с технологических позиций.

Деформации при биллетировке слитков отличаются местным характером, поскольку происходит только обжатие ребер граненого слитка и устранение его конусности по длине. В результате поверхностный слой круглой болванки (биллета) состоит из обжатых (в районе ребер) и не обжатых (в районе граней) участков, которые наиболее обособлены вблизи донной (более тонкой) части слитка. Дальнейшая проковка слитка сопровождается обжатиями, охватывающими и глубинные его слои.

При приложении к нагретому металлу деформирующего усилия первичные кристаллы литой структуры дробятся, поворачиваются и вытягиваются в направлении наибольшей положительной деформации. Одновременно вытягиваются и примеси, расположенные на границах зерен и дендритов. В то время как под влияниемковки и протекающих одновременно процессов рекристаллизации дендриты и зерна преобразуются в равноосную мелкую структуру, примеси остаются вытянутыми в направлении течения металла. Так образуется волокнистая структура или волокно (рис. 114).

Происходящие физические изменения при ковке литого металла существенно зависят от знака деформации. В частности, волокно образуется лишь в направлении максимальной положительной деформации, причем эта деформация должна быть значительной. При осадке круглой заготовки наибольшей деформацией является деформация сжатия по высоте, в то время как положительная поперечная (радиальная) деформация K_R или e_R составляет лишь часть высотной ($K_R = \sqrt{K_H}$, $e_R = \frac{e_H}{2}$). Все же при осадке по-

лучается поперечно-радиальное волокно, но при гораздо большей степени деформации, чем при протяжке с кантовкой.

При протяжке отдельные обжатия также представляют собой процесс осадки (отличающийся наличием внешних недеформируемых концов). Поэтому при протяжке без кантовки для обра-

зования продольного волокна требуется более высокая степень деформации, чем при протяжке с кантовкой. Образование волокна зависит и от величины подач. При протяжке с малыми подачами уширение невелико, и продольная волокнистость развивается более интенсивно, чем при больших подачах. Создание благоприятных условий для образования ярко выраженной волокнистой структуры обеспечивается двусторонним обжатием, т. е. протяжкой с кантовкой. В этих условиях меньшая положительная деформация в направлении уширения чередуется с отрицательной в направлении обжатия по высоте по той же оси, а большая положительная деформация в направлении вытяжки суммируется и получает преимущественное развитие, что и обеспечивает появление продольной волокнистости. При разгонке можно добиться развития поперечного волокна.

Как известно, наличие волокна обуславливает анизотропию механических свойств, проявляющуюся кратно углу 90° , т. е. вдоль и поперек волокна, в отличие от текстурной анизотропии, проявляющейся для кубических структур под углом 45° .

В обычных условияхковки наибольшей деформации подвергается зона смешанной структуры слитка (осевая зона). Поэтому при протяжке с малыми уковками ($K_L < 2$) волокнистое строение наблюдается только в середине деформируемого слитка. В периферийной зоне обнаруживаются еще остатки литой структуры в виде дендритов и их обломков, повернутых в той или иной степени в направлении преимущественного течения металла.

Лишь большая уковка, примерно свыше 3—4, а для легированной стали 5—8, создает ярко выраженную волокнистую структуру по всему сечению крупной заготовки.

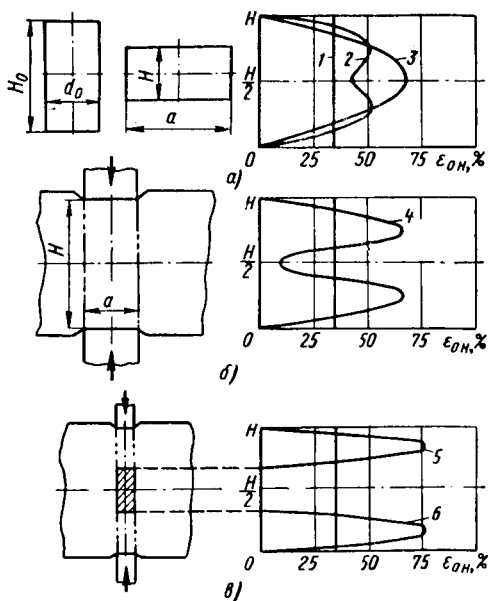
Однако, если крупный слиток деформируется малыми обжатиями, например на оборудовании небольшой мощности, или малой энергией удара, или с большой скоростью, то пластической деформацией охватывается преимущественно периферийная зона слитка, т. е. та, которая в обычных условияхковки составляет область затрудненной деформации. В этом случае волокнистая структура обнаруживается в первую очередь на периферии слитка. Здесь образуется мелкое зерно, а в центре остается недеформированная литая структура. Это можно наблюдать и при ковке небольших слитков, но из труднодеформируемых высоколегированных сплавов.

Очевидно существуют условия и для промежуточного положения, когда волокно образуется при относительно небольших уковках одновременно по всему сечению. Однако эти условия до сих пор четко не определены.

Форма многогранных и круглых слитков при ковке с малыми обжатиями предопределяет сосредоточение внешней силы на небольшой контактной поверхности, что не может вызвать деформации по всему сечению. Это и обуславливает преимущественную периферийную деформацию.

Рис. 115. Распределение обжатия по высоте поковок вдоль оси симметрии очага деформации:

a — осадка; b — протяжка полосы при $\frac{a}{H} = 0,2 \div 0,3$; ϑ — отрубка



Роль сосредоточения усилия на малой контактной поверхности (применительно к деформации заготовок большой высоты) подробно рассмотрена И. Я. Тарновским и В. Н. Трубиным (рис. 115). Прямая линия 1 характеризует распределение деформаций по высоте при равномерной осадке. Кривая 2 соответствует осадке при малом значении, а кривая 3 — при большом значении отношения $\frac{a}{H}$ и той же 35%-ной осадке. Кривая 4 отвечает 35%-ному обжатию при наличии недеформируемых концов и при малой величине отношения $\frac{a}{H}$. В средней части поковки уменьшение деформации, наметившееся на кривой 2, значительно более ярко выражено на кривой 4 (здесь точка минимума кривой немного превышает 10% деформации). Кривые 5 и 6 характеризуют деформацию настолько узкими бойками, что их можно сравнить с инструментом при рубке. В этом случае величина $\frac{a}{H}$ еще меньше, и в средней части поковки (см. заштрихованную область) деформация отсутствует. Эти результаты иллюстрируют условия локализации деформации в различных местах поковки по высоте в зависимости от соотношения размеров очага деформации.

Вопросу изменения механических свойств поковок в зависимости от уковки в различных направлениях относительно волокна посвящено много работ. В частности, Н. И. Корнеевым и И. Г. Скугаревым изучены общие закономерности для углеродистой стали (рис. 116) и высоколегированного сплава (рис. 117). Как следует из графиков, предел прочности для этих сплавов практически не зависит от величины уковки. Предел текучести же увеличивается у углеродистой стали и остается неизменным у легированной стали.

Как показывают эти и другие исследования, в началековки пластические свойства углеродистой стали вдоль и поперек волокна увеличиваются до уковки 2—4. Пластические свойства и ударная

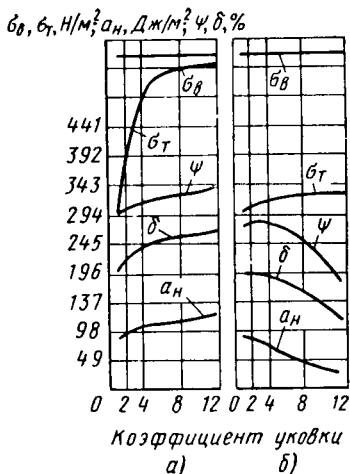


Рис. 116. Изменение механических свойств углеродистой стали в зависимости от уковки:

а — вдоль волокна; б — поперек волокна

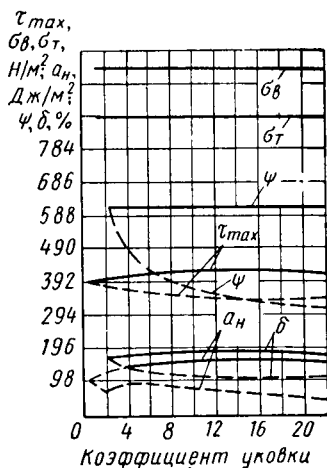


Рис. 117. Влияние величины уковки на механические свойства хромоникельвольфрамовой стали вдоль (сплошные линии) и поперек (штриховые линии) волокна

вязкость вдоль волокна продолжают повышаться до уковок 10—15, а в дальнейшем повышаются весьма незначительно. Пластические свойства, ударная вязкость и предел выносливости поперек волокна после достижения максимальных значений при уковке 2—4 интенсивно снижаются вплоть до уковки 10—15 а затем продолжают уменьшаться, но незначительно. Показатели статических прочностных свойств $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{\text{т}}$ после первоначального повышения при уковке $K_L = 2 \div 2,5$ затем изменяются незначительно при увеличении уковки до 3—7 вдоль и поперек волокна. Прочностные свойства некоторых специальных сплавов и большинства цветных металлов значительно повышаются, но причины этого недостаточно ясны. Различие в свойствах вдоль и поперек волокна зависят от качества металла, в частности это различие больше у сталей, содержащих 0,05% Р и 0,06% S, и меньше у сталей с более низким содержанием примесей.

Наблюдается также различие в механических свойствах на периферии и в средней части ковальной заготовки вследствие химической неоднородности исходного слитка. Значения $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{\text{т}}$ от периферии к середине уменьшаются незначительно, напротив, значения δ , ψ — значительно, причем поперек волокна более интенсивно, чем вдоль. При исследовании механических свойств поковки из хромолибденовой стали, изготовленной из слитка массой 56 т, было установлено, что $\psi_{\text{прод}}$ уменьшается от периферии к оси на 36%, $\delta_{\text{прод}}$ на 26%, $\psi_{\text{поп}}$ на 54%, $\delta_{\text{поп}}$ на 36%.

Известно, что при ковке сильносегрегированной стали 2,5—3-кратная уковка повышает показатели удлинения и поперечного сжатия литой стали едва на 10—15%, а ударная вязкость может даже уменьшиться. По данным И. Л. Миркина, для конструкционной углеродистой стали увеличение неметаллических включений на один балл приводит к уменьшению поперечного сжатия на 10%.

По данным М. Купета (рис. 118), пластические свойства углеродистой стали существенно зависят от степени ликвации, если судить по поперечным и продольным образцам. Наилучшим свойствам соответствуют относительно небольшие коэффициенты уковки (~2). Особенно большому снижению с увеличением ликвации подвержены показатели поперечного сжатия и удлинения для поперечных образцов.

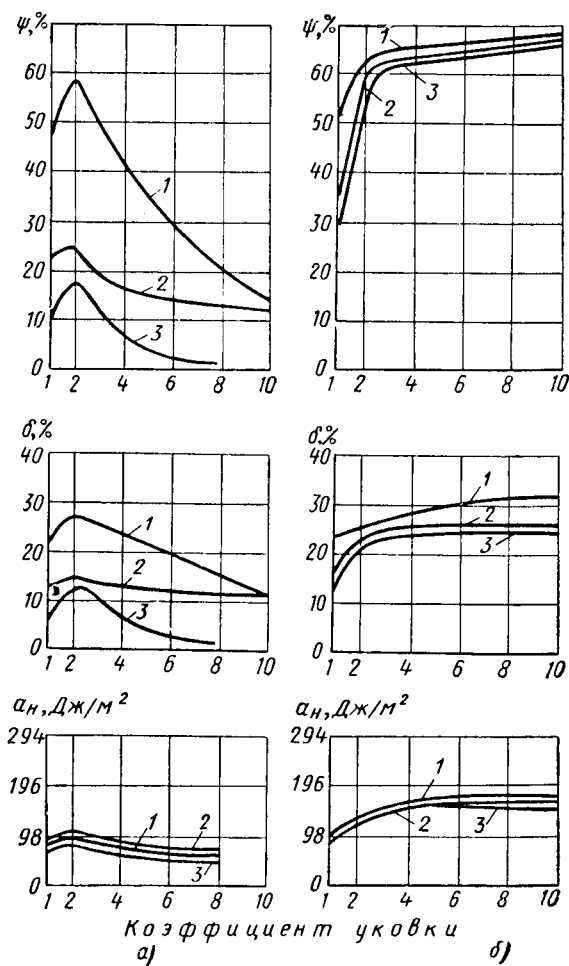


Рис. 118. Зависимость пластических характеристик углеродистой стали (0,4% С) от величины уковки:

а — поперечные и б — продольные образцы; масса слитков: 12 000, 63 000, 11 000 кг; 1 — нет ликвации; 2 — умеренная; 3 — сильная ликвация

Ниже приведен коэффициент уковки для получения оптимальных механических свойств слитков в продольном направлении:

Масса слитка, т	1	3	5	10	30	80	200
K_L	2,5	2,7	2,8	3,0	3,25	3,5	3,75

Более высокая уковка слитков из углеродистой и малолегированной конструкционной сталей протяжкой практически не изменяет продольные и немного снижает поперечные свойства.

Оптимальная величина уковки с учетом анизотропии механических свойств вдоль и поперек волокна зависит от направления наибольших напряжений, возникающих при работе детали, изготовляемой из поковки.

Н. И. Корнеев и И. Г. Скугарев дляковки легированной стали установили, что: 1) если наибольшие напряжения при работе детали не совпадают с продольным направлением волокна, то оптимальной является уковка, равная 3—4,5; 2) если наибольшие напряжения почти совпадают с продольным направлением волокна, уковка равна 5—6; 3) если наибольшие напряжения совпадают полностью с продольными направлениями волокна, общая оптимальная степень обжатия должна быть 10-кратной.

При уковке 2,5—6 в крупных кованных заготовках наряду с волокнистой структурой могут наблюдаться остатки литой структуры с неориентированной волокнистой структурой. Однако такая сталь обычно обладает удовлетворительными механическими свойствами.

Чем однороднее химические и физические свойства слитка, тем более однородными они оказываются в поковке. Однородность металла слитков в значительной степени зависит от их массы. По данным упомянутых авторов слиток легированной стали массой 650 кг является наилучшим исходным материалом для изготовления поковок вследствие хорошего качества его литой структуры.

Применение минимальных коэффициентов уковки при протяжке дает возможность использовать для поковок слитки меньшей массы или удлиненные слитки, что повышает качество поковок за счет улучшения металлургических характеристик слитков и снижает трудоемкость изготовления поковок.

По данным И. Г. Соколова для удлиненных слитков, имеющих отношение длины слитка к среднему диаметру, равное 4, условия кристаллизации стали по периферии и в сердцевине относительно одинаковые. При этом слитки получают более однородную структуру, наиболее чистую по дендритной и зональной ликвациям. Вследствие этого необходимая величина уковки для удлиненных слитков может быть снижена до 2,5—2,7 по сравнению с необходимой для обычных слитков 4,0—4,2.

Для получения требуемых коэффициентов уковки при относительно малых исходных сечениях слитка часто вводят операцию осадки. Осадка при последующей протяжке не уменьшает анизотропии механических свойств вдоль и поперек волокна. Осадка

значительно уменьшает разницу в механических свойствах вдоль и поперек волокна, когда куют по схеме протяжка—осадка—протяжка при $K_L \leq 3$ на последней операции.

Л. Н. Соколовым, В. Н. Трубиным и другими авторами установлено, что при ковке поковок валов промежуточная осадка для повышения механических свойств металла целесообразна лишь в тех случаях, когда при протяжке слитков не может быть достигнута уковка, равная $K_L \geq 2,5$. Однако после осадки для обеспечения относительно высоких механических показателей на продольных образцах необходима протяжка при $K_L \geq 2,5 \div 3,0$.

В технических условиях для поковок типа турбинных дисков оговариваются механические свойства в тангенциальном и радиальном направлениях, в которых при работе дисков действуют наибольшие напряжения. При этом решается вопрос о необходимой степени протяжки перед осадкой и величине степени осадки для получения необходимых свойств в тангенциальном и радиальном направлениях. При изготовлении поковок типа дисков одной протяжкой не удастся получить удовлетворительные свойства в тангенциальном направлении.

И. Г. Генерсоном было установлено, что при ковке дисков на механические свойства в тангенциальном и радиальном направлениях в основном оказывает влияние коэффициент уковки при осадке. При $K_H \geq 3$ для дисков можно ограничиться коэффициентом уковки при протяжке $K_L = 1,1 \div 1,2$. Такая величина уковки при протяжке немного снижает показатели пластичности в осевом направлении. Повышение коэффициента уковки при осадке снижает показатели пластичности в осевом направлении при всех применявшихся коэффициентах уковки (до пяти) и не влияет на прочностные характеристики.

В макроструктуре дисков даже при максимальных значениях коэффициентов уковки при протяжке (5) и осадке (5,4) наряду с волокнистой структурой наблюдаются остатки дендритов, но металл таких дисков обладает удовлетворительными механическими свойствами. По мнению некоторых специалистов, осадка как вспомогательная ковочная операция дает тем больший эффект, чем ближе к концу технологического процесса она выполняется.

В заключение следует рассмотреть особенностиковки высоколегированных малопластичных и труднодеформируемых сплавов, к которым относятся жаропрочные сплавы.

К высоколегированным относят стали, содержащие более 4% легирующих элементов при содержании до 0,4—0,5% С или при большем количестве углерода и не менее 2,5% других легирующих элементов. Независимо от содержания углерода сталь считается высоколегированной, если в ней содержится 4% легирующих элементов, а на один из них приходится 3% Cr, Ni, Si, Mn, 1,2% W, 0,5% Mo, Va и 0,12% Ti.

Некоторые сплавы содержат легирующие элементы, общее количество которых исчисляется десятками процентов. К числу

сложных в обработке относятся многие сплавы не на железной основе — некоторые никелевые, молибденовые, ниобиевые и даже титановые сплавы (например, ВТ18), для обработки которых используют специальные приемы, позволяющие их ковать, штамповать и прессовать.

При ковке труднодеформируемых и малопластичных литых сплавов приходится считать с большим разнообразием их свойств и в связи с этим с многочисленными требованиями к металлообработке давлением. В общем их можно подразделить на две большие группы, одна из которых допускает только незначительные, но быстросовершаемые обжатия при температуре мгновенной рекристаллизации — эти сплавы коуют на молотах при многократных дробных обжатиях за много проходов. Другая группа сплавов допускает большие непрерывные, но медленно совершаемые обжатия в условиях вяло протекающей рекристаллизации. Эти литые сплавы обрабатывают на прессах.

Отличительной особенностью малопластичных, труднодеформируемых сплавов является весьма узкий температурный интервалковки ($50\text{—}150^\circ$ вместо обычного $300\text{—}500^\circ\text{C}$) и высокая температура рекристаллизации, которая протекает очень медленно. Малая продолжительность горячей обработки еще в большей степени уменьшает возможности рекристаллизации сплава, в результате ковка такого сплава оказывается ближе к полугорячему процессу. Незавершенность рекристаллизации (полностью проходит лишь процесс возврата) приводит к исчерпанию деформационной способности металла при относительно небольших деформациях. Образующиеся многочисленные внутренние и наружные надрывы служат источником концентрации напряжений при следующих обжатиях, в результате чего сплав становится хрупким. Низкопластичные сплавы очень чувствительны к неравномерности деформации, к совпадающим положительным деформациям и напряжениям, плохо переносят локализацию деформации и, в частности, повышенную сдвиговую деформацию. Низкая теплопроводность сплава вызывает большие тепловые напряжения, которые становятся опасными даже в результате охлаждающего действия со стороны инструмента. Особенно большие трудности связаны с первой стадиейковки, когда необходимо раздробить грубое дендритное строение сплавов.

В связи с отмеченными особенностями малопластичные и труднодеформируемые сплавы коуют при тщательном соблюдении механических и тепловых режимов, которые разрабатывают с учетом возможных осложнений при ковке.

Для улучшения условийковки (в частности, для уменьшения неравномерности деформации) смазывают смазками инструмент или обмазывают слитки специальными покрытиями, уменьшающими теплоотдачу от металла, снижающими контактные силы трения и защищающими сплав от повышенного окисления. Вместо обмазки применяют также аэрографическое нанесение паст и

металлизированных покрытий на поверхность обрабатываемого металла.

Для уменьшения опасных растягивающих деформаций и устранения контакта с воздухом при осадке заготовок применяют деформацию в обоймах. Этот вопрос подробно изучен Л. Н. Могучим. Заготовка, заключенная в массивную обойму, нагревается вместе с ней и проковывается при наличии боковых подпирающих сил со стороны обоймы. Кроме обойм (их нужно послековки распиливать) применяют нагретые до $900\text{--}1000^\circ\text{C}$ торцовые подкладки из недорогого металла (например, из углеродистой стали). При удачном подборе толщины подкладок и их температуры можно добиться высокой степени однородности металла и минимального бочкообразования. По данным Л. В. Прозорова, применяют прокладки толщиной $(0,07\text{--}0,1) H_0$ при $\frac{D_0}{H_0} = 1,5\div 3$ и $(0,1\text{--}0,12) H_0$ при $\frac{D_0}{H_0} = 3\div 5$. При правильном подборе материала и температуры вначале происходит деформация прокладок (на $10\text{--}20\%$) и лишь затем заготовки при продолжающемся обжатии прокладок.

При ковке малопластичной стали применяют также высокий подогрев бойков. Обычной температурой нагрева бойков считается $250\text{--}350^\circ\text{C}$, высокой — до $600\text{--}800^\circ\text{C}$ и более высоких температур (но более низких, чем температура отпуска данной инструментальной стали).

В случае протяжки малопластичной стали слитки обычно куят на квадрат. При этом стремятся получить правильную форму квадрата, так как даже слегка ромбическое сечение вызывает разрушение заготовки от сдвиговых деформаций (под углом 45°). Еще опаснее обжатие путем нажима на подстуженные ребра заготовки. Если ромбическую заготовку удастся обжать без кантовки на пластину, то затем после кантовки на 90° и обжатия профиль восстанавливается. Ковка через пластину позволяет заваривать внутренние дефекты, образующиеся при отливке слитков. При протяжке с квадрата на квадрат ребра заготовки в началековки целесообразно сбивать (слабыми ударами на $10\text{--}15\text{ мм}$), чтобы избежать их быстрого остывания, растрескивания и образования больших трещин.

Если при обычной ковке слитков образующиеся трещины имеют поверхностное происхождение и распространение, то практикуют предварительную обдирку слитков. Эта малопроизводительная и трудоемкая операция удорожает детали и увеличивает расход металла на их изготовление, поэтому применяется при крайней необходимости.

Вместо обычной билетировки для устранения конусности и ребристости слитков иногда применяют их продавливание через матрицу (по схеме прямого прессования). Повышенное гидростатическое давление при этом процессе способствует возрастанию пластичности. Однако продавливание через матрицу требует

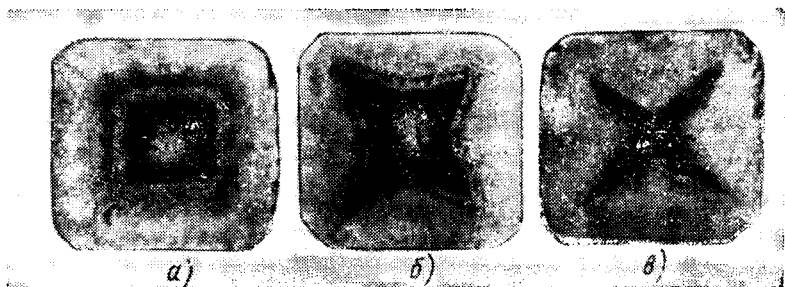


Рис. 119. Ковочный крест, образовавшийся при протяжке с квадрата на квадрат слитка из коррозионно-стойкого сплава:

а, б, в — стадии образования ковочного креста

применения громоздкого инструмента, а иногда и специального оборудования.

Для увеличения продолжительности процессаковки в узком интервале температур могут быть применены различные замедлители охлаждения металла в виде малотеплопроводных оболочек, асбестовых прокладок и покрывал. Значительное замедление остывания заготовки сокращает число выносов и расход теплоты, а режимковки при этом приближается к изотермическому.

Приковке дорогостоящей высоколегированной стали, склонной к трещинообразованию, приходится ориентироваться на небольшие (безопасные) обжатия и относительные подачи, не считаясь со снижением производительности работы. Частые и сильные удары молота вызывают разогрев металла, что может сопровождаться даже расслоением его по месту локализации тепловых выделений. Обычно таким местом является область так называемого ковочного креста, распространяющегося в пределах поперечного сечения заготовки под углом 45° к контактной поверхности (рис. 119). Эта крестообразная область, в которой действуют максимальные скалывающие напряжения, является объектом разрушения малопластичной стали. Образование ковочного креста подробно изучено В. Ф. Лошкаревым, М. Я. Дзугутовым и др. Установлено, что в центральной части ковочного креста деформация может в 1,5—2,0 раза превышать среднюю по сечению. Схема образования ковочного креста (рис. 120) разъясняется при рассмотрении искажений координатной сетки в поперечном сечении. Первое обжатие (рис. 120, а) приводит к вогнутости горизонтальных линий в направлении к оси заготовки (т. е. в направлении обжатия по высоте) и вертикальных линий в направлении от оси заготовки (т. е. в направлении поперечной деформации). После кантовки (рис. 120, б) выпуклость линий *ab* и *cd* становится обратной, т. е. вдоль горизонтали расположены выпуклые линии от оси, а по вертикали — выпуклые в сторону оси. При втором обжатии происходит аналогично предыдущему искажение линий в на-

правлениях, противоположных выпуклости (рис. 120, б). Третье обжатие после очередной кантовки (рис. 120, в) вновь изменяет направление выпуклости линий в их средней части. В результате после протяжки получается искаженная сетка (рис. 120, г), у которой наибольшее изменение углов соответствует диагоналям поперечного сечения. Исключение составляет центральная область сечения, где осевая и поперечная линии по-прежнему пересекаются под прямым углом.

В. С. Максимук установил образование при ковке дополнительных (вторичных) ковочных крестов в продольном сечении очага деформации в результате сдвиговой деформации, начинающейся от границ инструмента.

При исчерпании деформации в области ковочного креста трещины обычно располагаются в одной или обеих диагональных плоскостях вдоль оси заготовки. Ковочный крест развивается с увеличением числа кантовок и обжатия тем интенсивнее, чем больше отношение подачи к высоте сечения. Поэтому при обработке малопластичной стали рекомендуется брать отношение $\frac{a}{H_0} < 1$. По рекомендациям И. Я. Тарновского дляковки сплавов (безотносительно к химическому составу) оптимальная величина этого отношения, исходя из условий неравномерности деформации и анализа механических схемковки, находится в пределах $0,8 > \frac{a}{H_0} > 0,5$.

В процессековки большое значение при заварке трещин и пустот имеет их ориентирование. Заковка и заварка дефектов,

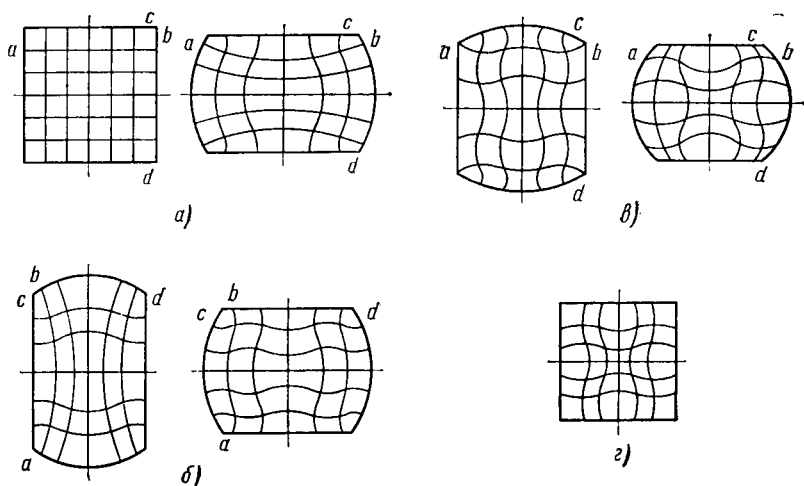


Рис. 120. Схема образования ковочного креста в поперечном сечении протягнутой заготовки:

а — первое обжатие; б — кантовка и второе обжатие; в — кантовка и третье обжатие; г — сечение протянутой болванки многоступенчатого вала

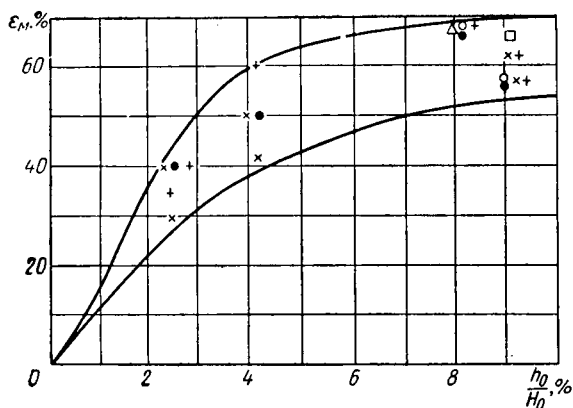


Рис. 121. Зависимость местной степени деформации ϵ_m , необходимой для закрытия дефекта, от относительной высоты дефекта $\frac{h_0}{H_0}$ при осадке на плитах различной формы:

- — плоских; ● — плоских, нижняя плита с отверстием; □ — плоских (осадка со смазкой); × — вогнутых сплошных; △ — вогнутых, нижняя плита с отверстием; + — выпуклых; h_0 — высота дефекта; H_0 — высота заготовки

ориентированных в направлении действующей силы, происходят при меньшей степени деформации, чем при расположении дефектов в области зон затрудненной деформации. На заковку и заварку дефектов оказывает влияние величина боковых подпирающих сил в схеме напряженного состояния. Чем больше боковые сжимающие напряжения, тем раньше устраняются внутренние дефекты. Для заварки внутренней трещины, расположенной в данной плоскости, необходимо, чтобы происходила деформация сжатия в перпендикулярном к ней направлении и действовало сжимающее напряжение. С этой целью обжимают слитки, подстуженные с поверхности. Наружный слой металла, более холодный, чем сердцевина слитка, играет роль обоймы. Для заварки внутренних трещин достаточно обжатие, равное 7—8%. Ковка с подстуживанием разработана и внедрена сотрудниками кафедры «Обработка металлов давлением» Московского института стали и сплавов.

При прочих равных условиях на закрытие дефектов влияет форма осадочных плит. Как указывалось, в цехах применяют плоский (на молотах и прессах) и вогнутый осадочный инструмент — плиты (на прессах), а в последнее время и выпуклые плиты. Вогнутые плиты создают большую неравномерность деформации, чем плоские, так как горизонтальные составляющие внешних сил у вогнутых плит, складываясь с силами трения, также направленными к оси заготовки, увеличивают объем и жесткость зон затрудненной деформации. Для закрытия дефектов, находящихся в этих зонах, необходима повышенная степень деформации.

Вогнутые плиты при осадке заготовок с отношением $\frac{D_0}{H_0} \geq 1$ приводят к снижению степени деформации, необходимой для заковки и заварки дефектов, расположенных в центре. Высотная деформация в закрытии дефектов играет доминирующую роль. Выпуклые плиты в условиях значительного трения приводят к примерно одинаковой радиальной деформации по высоте, что создает равные условия для закрытия дефектов в разных местах

по объему, но степень деформации для закрытия дефектов в данном случае повышается. На рис. 121 показана зависимость местной степени деформации, необходимой для закрытия дефекта от относительной высоты дефекта при осадке на плитах различной формы. Дефекты до 2% от высоты заготовки закрываются при местной степени деформации, равной ~30%, тогда как крупные дефекты, достигающие 6, 8, 10%, — лишь при 60—70% местной деформации.

4. Содержание технологической разработки

Ковку должны осуществлять в соответствии с детально разработанным технологическим процессом. Примерная последовательность этапов разработки технологического процессаковки следующая:

1) техническое и экономическое сопоставление возможных вариантовковки и ориентировочный выбор способаковки;

2) составление чертежапоковки по чертежу детали с учетом соответствующих технических условий;

3) определение объема и массы заготовки (слитка) по чертежу поковки с учетом отходов металла, получающихся при изготовлении поковок;

4) установление величины необходимой уковки и определение соответствующих размеров заготовки (слитка);

5) определение вида, числа и последовательности кузнечных операций для изготовления поковки, а также выбор или конструирование соответствующего инструмента;

6) разработка теплового режима нагрева, подогрева заготовки и охлаждения поковки;

7) установление типа и размера оборудования дляковки;

8) расчет состава рабочей бригады и норм времени наковку;

9) разработка мероприятий по технике безопасности работы, охране труда и окружающей среды;

10) определение себестоимости производства поковок.

Разработка технологического процесса в условиях проектной организации и завода имеет некоторые отличия. При составлении проекта цеха учитывают необходимость использования новейшего производительного оборудования, соответствующее размещение его с целью механизации, высокую загрузку всех используемых машин, минимальную себестоимость, получение поковок высокого качества и т. п.

Технолог, разрабатывающий процесс изготовления поковок в условиях завода, должен учитывать наличие данного вида оборудования, его мощности, существующие схемы организации рабочего места, квалификацию рабочих и другие конкретные обстоятельства данного предприятия. Однако и перед технологом завода стоит задача получить возможно большую производительность, высокое качество и минимальную себестоимость про-

дукции при обеспечении необходимых социально-экономических условий (техники безопасности на рабочем месте, охраны окружающей среды и т. д.).

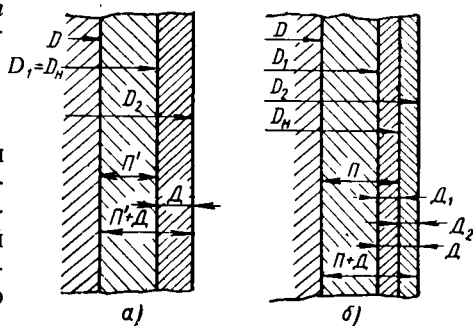
Прежде чем приступить к разработке технологического процесса, необходимо установить, каким способом будет изготовлена данная поковка. Во многих случаях этот вопрос решается без каких-либо расчетов. Если масса и габаритные размеры поковок превышают допустимые для штамповки, токовка их неизбежна. При меньшей массе поковок решающим фактором является серийность производства (заданная программа или величина заказа на поковки), причем если серийность исчисляется многими сотнями изделий, то может быть применена штамповка, а если десятками, токовка иликовка с частичной подштамповкой. Дополнительным фактором является конфигурация поковок, сложность которой учитывается при уточнении принятого варианта разработки. С этой целью используют классификации поковок по их форме. Когда недостаточно ясно, какой из процессов следует принять, приходит на помощь расчет так называемых критических серийностей, который в каждом отдельном случае уточняет границы серийности для наиболее целесообразных технологических решений (см. гл. X).

Приступая к разработке технологического процессаковки, прежде всего технолог устанавливает вид исходной заготовки для даннойковки (слиток иликатаная заготовка) и тип оборудования (пресс или молот). Определяющим признаком при этом служит массаковки и данные о деформируемости сплава. Для поковок массой до нескольких сот килограммов применяют блюмы и катаные заготовки (см. § 1 гл. II), причем куят их на молотах с массой падающих частей от 100 кг до 7 т. Поковки типа гладких валов можно ковать на молотах из слитков углеродистой стали массой до 1000—1500 кг. Слитки массой от 200—600 кг из высоколегированных сплавов, в частности, из тех, которые отличаются лучшими результатами при динамической обработке давлением, также куят на молотах. Более тяжелые слитки куят на гидравлических (или парогидравлических) прессах усилием от 6 до 150 МН.

В отдельных случаях при выборе способаковки прибегают к технико-экономическому анализу вариантов технологии. Для определения целесообразности применения приковке подкладных штампов или специального (не универсального) инструмента, приспособлений, дополнительных средств механизации и т. п. необходимо произвести экономический расчет (см. гл. XI).

Когда технологический процесс уточнен, технолог разрабатывает чертежковки по эскизу детали и таблицам припусков, допусков и напусков. Эти данные берут из соответствующих ГОСТов (7829—70 для поковок, изготавливаемых на молотах, 7062—67 — изготавливаемых на прессах), в которых поясняется техника нахождения указанных величин, определяющих точность

Рис. 122. Два способа назначения припусков Π и допусков D на размеры поковок



размеров поковок и объем металла, подлежащего снятию в стружку. У некоторых поковок механической обработке подвергают всю поверхность, у других только часть ее.

Механическую обработку поковок назначают для устранения дефектного слоя металла (снятия припусков); удаления лишнего металла в тех местах, где форма поковки не соответствует форме детали (удаления напусков); обеспечения заданных размеров детали и качества обработки поверхности. В дефектном слое металла могут быть раковины или вмятая окалина, обезуглероженный металл, поверхностные трещины и складки. К числу погрешностей обработки, вызывающих необходимость назначения припусков на поковки, относят искажения геометрической формы поковки (перекосы, сдвиги, разнотолщинность, разностенность, неровности поверхности, коробление и другие, зависящие от оборудования, инструмента и теплового воздействия на металл). Указанные дефекты и погрешности частично могут быть взаимно компенсированы, так что в общем случае припуск на механическую обработку меньше суммы отдельных составляющих, определяемых расчетом. Узкие и небольшие уступы, выступы малого радиуса и т. п. не воспроизводятся, в связи с чем появляются напуски, упрощающие форму поковки, в виде некоторого слоя металла, который так же, как и припуск, удаляют в стружку.

На рис. 122 показаны два способа назначения припусков Π и допусков D , припуски Π и допуски D отнесены условно к одной стороне поковки. При первом способе (рис. 122, а), как и всегда, допуск D характеризует разность между наибольшим размером D_2 и наименьшим размером D_1 поковки, но номинальный размер поковки совпадает с наименьшим и получается прибавлением к размеру D детали величины припуска Π' , $D_1 = D_n = D + \Pi'$. Припуском в данном случае является м и н и м а л ь н ы й с л о й м е т а л л а, удаляемый при механической обработке. Действительный п р и п у с к Π_ϕ больше, так как в стружку, помимо металла припуска, идет слой металла, соответствующий в каждом отдельном случае допускаемому отклонению размера от номинального:

$$\Pi_\phi = \Pi + (0 \div D).$$

При изменении допуска от 0 до D размер поковки изменяется от D_1 до D_2 .

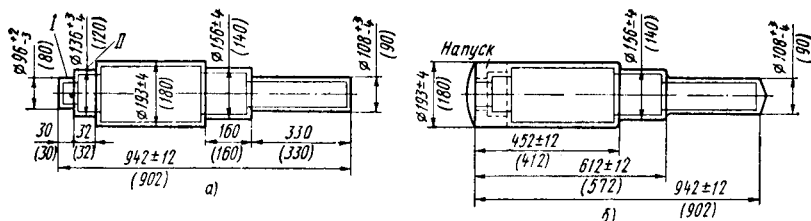


Рис. 123. Чертеж поковки с припусками, допусками и напусками

При втором способе (рис. 122, б) диапазон допускаемых отклонений размеров поковок подразделяют на две части. При прибавлении одной части допуска (D_2 — верхнее отклонение) к номинальному размеру D_n получают наибольший размер поковки

$$D_2 = D_n + D_2.$$

Вторая часть допуска (D_1 — нижнее отклонение), вычитаемая из номинального размера, дает наименьший размер поковки $D_1 = D_n - D_1$. Действительный припуск при этом изменяется от $P - D_1$ до $P + D_2$. Если $D_1 = D_2$, то допуск характеризуется симметричными отклонениями, в противном случае — несимметричными.

При двустороннем допуске величина припуска P больше припуска P' при одностороннем допуске на величину нижнего отклонения размера D_1 . Оба способа установления допусков применяют в промышленности, поэтому, сопоставляя припуски, нужно отличать величины припуска P' при одностороннем допуске от припуска P при двустороннем допуске. Из сопоставления обоих способов назначения допусков следует, что для расчетов припусков и полей отклонений размеров удобно использовать одностороннее отклонение размеров поковок. Для наладки и контроля процесса изготовления поковок более удобны двусторонние отклонения их размеров. При использовании ГОСТов следует иметь в виду, что в них приведены наибольшие величины припусков и допусков. Таким образом, ГОСТы не допускают лишь превышения определенных величин припусков и допусков, однако возможность их уменьшения при условии получения годной детали после механической обработки обязательно нужно учитывать при разработке технологического процесса.

При вычерчивании поковки используют обычные правила технического черчения; отличия состоят в том, что внутри контура поковки обозначают более тонкими сплошными линиями эскиз детали или обдирочный ее контур. Ниже каждого размера поковки в скобках ставят размер детали или обдирочный размер, а справа от размера поковки — допуски ($\pm D$).

На рис. 123, а показан многоступенчатый вал с припусками согласно ГОСТ 7829—70 для поковок, изготавливаемых из углеродистой стали ковкой на молотах. Допуски определены на все

размеры вала по диаметру и на общую его длину. При проверке возможностиковки уступов (по тому же ГОСТу) было установлено, что короткие концевые уступы I и II ковке не подлежат, поэтому в этих местах предусмотрены напуски (рис. 123, б).

По чертежу поковки определяют ее объем, разбивая его на части простых форм, а затем и ее массу. Общая масса заготовки (слитка) $G_{\text{заг}}$ получается как сумма

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{обс}} + G_{\text{в}} + G_{\text{уг}} + G_{\text{пр}} + G_{\text{д}}, \quad (51)$$

где $G_{\text{пок}}$ — масса поковки; $G_{\text{обс}}$ — масса отхода на обсечки (0—5%); $G_{\text{в}}$ — масса выдры (8—12%); $G_{\text{уг}}$ — масса отхода на угар (~ 2% при нагреве и 1,25% при подогреве заготовки); $G_{\text{пр}}$ — масса прибыльной части слитка (20—25% для углеродистой и 25—35% для легированной сталей); $G_{\text{д}}$ — масса донной части слитка (5—7% для углеродистой и 7—10% для легированной сталей).

При ковке поковок из катаного металла последние две составляющие равенства отсутствуют. Как отмечалось, прибыльная и донная части слитка, составляющие наибольшую величину в общих отходах при ковке слитков, являются в действительности отходами не кузнечного, а сталеплавильного производства.

По массе поковки и отходов определяют размеры заготовки или слитка. Слиток выбирают из нормального ряда по размерам, равным расчетным, либо ближайшим большим. В последнем случае у слитка появляется так называемый годный остаток. Если из этого остатка не удастся изготовить какую-либо поковку, то он идет в переплав и должен быть включен седьмой составляющей в сумму равенства (51). Данные, необходимые для расчета отходов на обсечки, угар и т. д., можно найти в справочниках или в заводских нормалях. Эти данные составляют с учетом марки стали, массы слитка, способа нагрева металла и т. п. Для приблизительных расчетов отходов при ковке из блюмов, слябов и прутков суммарные потери металла учитывают расходным коэффициентом $k_p > 1$, тогда необходимое количество металла на поковку

$$G_{\text{заг}} = k_p G_{\text{пок}}. \quad (52)$$

Значение $K_p = \frac{G_{\text{заг}}}{G_{\text{пок}}}$ приведено в табл. 24. Нетрудно видеть, что расходный коэффициент и коэффициент выхода годного при ковке поковок $\eta_{\text{пок}}$ обратно пропорциональны друг другу.

Действительно, обозначив через $G_{\text{отх}}$ массу отходов, получим

$$\eta_{\text{пок}} = \frac{G_{\text{заг}} - G_{\text{отх}}}{G_{\text{заг}}} = \frac{G_{\text{пок}}}{G_{\text{заг}}} = \frac{1}{k_p}. \quad (53)$$

По найденной массе заготовки можно установить ее исходные размеры с учетом тех величин уковки, которые должны обеспечить наилучшие механические свойства металла поковки. Трудности здесь состоят в том, что обеспечить одинаковую уковку в различ-

Расходные коэффициенты и коэффициенты выхода годного при изготовлении поковок из прокатанного металла (по В. В. Керекешу)

Группа поковок	Изготовление поковок	Коэффициент	
		k_p	$\eta_{\text{пок}}$
1	Без обесечки (фланцы глухие, круглые, овальные пластины, кубики)	1,02—1,03	0,98—0,97
2	Протяжкой с последующей гибкой в специальных приспособлениях (скобы, вилки)	1,03	0,97
3	Осадкой с последующей разгонкой полотна или подсадкой кольцом (шестерни, фланцы, муфты, крышки) . .	1,03	0,97
4	С помощью клиновых накладок (клинья, шпонки)	1,05—1,09	0,95—0,92
5	Протяжкой, длинноосные одинакового сечения по длине (валы, бруски, планки, стержни)	1,06—1,09	0,94—0,92
6	Протяжкой, с односторонними уступами (двухступенчатые валы, валы с фланцами, болты)	1,07—1,09	0,93—0,92
7	Протяжкой, с двусторонними уступами (многоступенчатые валы, прямоугольные бруски с уступами) . .	1,09—1,1	0,92—0,91
8	Осадкой с последующей прошивкой, раскаткой, протяжкой на оправке (кольца, втулки, обечайки) . .	1,10—1,25	0,9—0,8
9	С обесечкой краев (секторы, державки, кулисы, собачки)	1,09—1,25	0,92—0,8

ных частях поковки сложной формы обычно не удается. Однако в большинстве случаев и требования к различным частям детали в соответствии с выполняемыми ими функциями также неодинаковы. Тогда выделяют наиболее ответственную часть детали и рассчитывают для нее оптимальную уковку, при этом остальные части детали получают уковку, большую или меньшую установленной, но достаточную для ликвидации литой структуры при ковке.

На практике распространен способ расчета размеров заготовки по минимальной уковке, определяемой наибольшим сечением поковки. Если поковку с наибольшим сечением $F_{\max}$ получают протяжкой болванки, то при минимальной уковке $K_{\min}$ исходное сечение болванки F_6 :

$$K_{\min} = \frac{F_{\max}}{F_6}, \quad F_6 = \frac{F_{\max}}{K_{\min}}.$$

Тогда длина исходной болванки

$$L_6 = V : F_6,$$

где V — объем поковки с учетом отходов при нагреве и в процессековки.

Если поковку изготавливают из слитка, то протяжке предшествует билетировка, при которой уковка обычно не превышает 1,1 для донной части. При билетировке наименьшее сечение слитка с учетом уковки составляет $1,1F_6$, а на остальных сечениях уковка превышает величину $K_{\min}$ за счет конусности слитка. Дополнительная уковка может получиться при переходе от одного профиля заготовки к другому у поковки. Например, при переходе с круга диаметром D на вписанный квадрат со стороной a отношение размеров соответствует $D = (1,3 \div 1,4) a$, что отвечает уковке, равной $K \approx 1,7$. При переходе с квадрата на круг удастся выдержать соотношение размеров $a = (0,97 \div 0,98) D$, при этом незначительной дополнительной уковкой можно пренебречь. Если при необходимой уковке сечение и объем слитка получаются по произведенным расчетам чрезмерно большими, то возможно изготовление двух или даже нескольких поковок из одного слитка, что обычно приводит к повышению коэффициента выхода годного. Однако это решение может оказаться неприемлемым из-за усложнения условий нагрева металла и необходимости более мощного оборудования. Другая возможность увеличения уковки состоит во введении дополнительной операции осадки. Этот и другие вопросы относительно необходимой уковки для различных технологических схем рассмотрены в § 3 настоящей главы.

По размерам заготовки (слитка) и схеме переходов при ковке определяют типоразмер необходимого оборудования. Определяя размер основного ковочного оборудования (молота, прессы), ориентируются на наиболее тяжелую операцию данного технологического процесса. Например, при протяжке с промежуточной или окончательной осадкой определяющей операцией является осадка и вероятнее всего окончательная, поскольку в этих условиях пониженная температура металла обуславливает наибольшее необходимое усилие на деформацию. Усилие прессы и массу падающих частей молота определяют по методам, изложенным в курсе «Теория обработки металлов давлением», а также с помощью различных графиков, эмпирических формул и нормалей, приведенных в специальной справочной литературе.

В табл. 25 приведены ориентировочные данные для определения необходимой массы падающих частей пневматических и паровоздушных молотов в зависимости от массы или сечения поковок.

Масса падающих частей молотов может быть также определена исходя из удельной работы деформации. Для поковок из углеродистой стали эта величина составляет приблизительно 40—50 кДж/м³, а из легированной стали 60—70 кДж/м³. В табл. 26 приведены среднестатистические данные дляковки на прессах.

Если выбранный типоразмер оборудования должен быть подтвержден расчетом, то следует исходить из конкретных данных

Данные к определению массы падающих частей молотов

Масса падающих частей молота, кг	Средняя и наибольшая масса фасонной поковки, кг	Наибольшая масса гладкого вала, кг	Наибольшее сечение заготовки (сторона квадрата), мм
100	0,5—2,0	10	50
300	3—10	45	85
500	8—25	100	115
1000	20—70	250	160
2000	60—180	500	225
3000	100—320	750	275
5000	200—700	1500	350

Таблица 26

Данные к определению усилия при ковке на прессах

Усилие пресса, МН	Слиток	
	Масса, кг	Диаметр, мм
6	500—2 000	200—500
8	2 000—3 000	250—600
10	4 000—8 000	300—800
20	15 000—30 000	400—1200
30	30 000—60 000	600—1600
60	60 000—120 000	1000—2500
100	150 000—250 000	2000—2800

о заготовке применительно к каждой технологической операции. Наиболее просто определить усилие, необходимое для осадки слитков или болванок под прессами:

$$P = M p_{\text{уд}} F_{\text{к}}, \quad (54)$$

где M — масштабный коэффициент; $p_{\text{уд}}$ — удельное усилие деформации, Н/м²; $F_{\text{к}}$ — сечение осажженной заготовки, м².

В учебнике М. В. Сторожева и Е. В. Попова (21) наряду с относительно более точными формулами приведены также приближенные, несложные способы и формулы для подбора необходимого оборудования.

Для указанных выше условий осадки можно использовать формулу, выведенную методом баланса работ:

$$p_{\text{уд}} = \sigma_{\tau(t)} + \frac{\tau}{3} \frac{D_{\text{к}}}{H_{\text{к}}} \dots \quad (55)$$

Сопротивление деформации $\sigma_{\tau(t)}$ стали при температуре концаковки можно определить, например, по данным, приведенным в табл. 27.

Сопротивление деформации $\sigma_{\tau(t)}$ стали при высоких температурах
(по Покрандту)

Сопротивление деформации стали в ненагретом состоянии, МН/м ²	Температура стали, С					
	800	900	1000	1100	1200	1300
400	6,5	4,5	3,0	2,5	2,0	1,5
600	11,0	7,5	5,5	3,5	2,5	2,0
800	16,5	11,0	7,5	5,0	3,5	2,5

Величину контактных сил трения τ устанавливают по экспериментальным данным. В условияхковки при высоких температурах и без смазки можно ориентироваться на максимальные силы трения $\tau_{\max} = 0,5\sigma_{\tau(t)}$, тогда формула (55) приобретает вид

$$\rho_{\text{уд}} = \sigma_{\tau(t)} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{D_{\text{к}}}{H_{\text{к}}} \right). \quad (56)$$

При силах трения меньших, чем максимальные, можно принять одну из известных в теории обработки металлов давлением закономерностей для сил трения. При использовании зависимости $\tau = \sigma_{\tau(t)}$ μ формула (55) для определения удельного усилия осадки под прессом приобретает вид

$$\rho_{\text{уд}} = 1,15\sigma_{\tau(t)} \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{D_{\text{к}}}{H_{\text{к}}} \right). \quad (57)$$

Эту формулу, выведенную Е. П. Унковым для осадки плоской заготовки, можно использовать и для определения удельного усилия при протяжке плоскими бойками, представив ее в следующем виде:

$$\rho_{\text{уд}} = 1,15\sigma_{\tau(t)} \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{a_{\text{к}}}{H_{\text{к}}} \right), \quad (57')$$

где $a_{\text{к}}$ — величина подачи после обжатия металла; $H_{\text{к}}$ — высота обжатой заготовки, мм.

Более точные результаты расчета по этой формуле отвечают условиям $\frac{a_{\text{к}}}{H_{\text{к}}} < 2$.

Для протяжки в вырезных радиусных бойках М. В. Сторожев рекомендует формулу, выведенную методом решения дифференциального уравнения равновесия совместно с условием пластичности

$$\rho_{\text{уд}} = 1,15\sigma_{\tau(t)} \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{a_0}{D_{\text{к}}} \right). \quad (58)$$

Этим же автором выведена формула для протяжки на оправке (по схеме на рис. 107):

$$\rho_{\text{уд}} = 1,05\sigma_{\tau(t)} \left[1 + \frac{1}{3} \mu \left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{D_{\text{к}}} \right) b \right], \quad (59)$$

где δ — толщина стенки заготовки в конце протяжки, мм; b — ширина вырезного бойка, мм. Для определения работы при осесимметричной осадке М. В. Сторожев вывел формулу

$$A_{ос} = \sigma_T(t) V \left[\ln \frac{H_0}{H_K} + \frac{1}{9} \left(\frac{D_K}{H_K} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right]. \quad (60)$$

Первый член в квадратных скобках отображает работу деформации без учета трения, а второй — работу трения в условиях максимальных сил трения ($\tau = 0,5\sigma_T$).

Работа при протяжке плоскими бойками

$$A_{пр} = 1,15\sigma_T(t) V \left[\ln \frac{H_0}{H_K} + \frac{1}{8} \left(\frac{a_K}{H_K} - \frac{a_0}{H_0} \right) \right], \quad (61)$$

где a_0 и a_K — подачи, H_0 и H_K — высоты протягиваемой заготовки в начале и конце рассчитываемого обжатия, мм.

Для малых деформаций ($\varepsilon_{0H} \leq 0,1$) работу при осадке или протяжке можно определить как произведение деформируемого объема, удельного усилия и степени деформации (без учета ее знака):

$$A = V\rho_{уд} |\varepsilon_{0H}|. \quad (62)$$

Методика определения усилия прессы дляковки по М. В. Сторожеву состоит из следующих расчетных этапов. Для осадки по заданным размерам заготовки D_0 , H_0 и относительной деформации $\varepsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0}$ устанавливают

$$H_K = H_0(1 - \varepsilon_{0H}), \quad D_K = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_K}} \quad \text{и} \quad F_K = \frac{\pi D_K^2}{4}.$$

Зная химический состав стали и температуру заготовки в конце осадки [падение температуры при остывании можно определить по формуле (20)], устанавливают величину $\sigma_T(t)$ (например, по табл. 27). Удельное усилие деформирования на прессе можно определить по формуле (56). Если заготовка имеет большие габаритные размеры, то учитывают масштабный фактор, выбирая соответствующий поправочный коэффициент M из следующего ряда (по данным Е. Н. Мошнина и Н. М. Золотухина):

Масса слитка, т	0,5	6,0	20,0	50,0	100,0
Масштабный коэффициент	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50

Необходимое для осадки усилие найдем по формуле (54). По этому усилию подбирают пресс (ближайший больший из размерного гостированного ряда), а его модель — по каталогу выпускаемых прессов.

Для осадки под молотом массу его падающих частей определяют следующим образом (по М. В. Сторожеву). Кроме приведенных расчетов применительно к осадке на прессе определяют объем осаживаемой заготовки V и устанавливают скоростной коэффициент C_w , используя следующие данные С. И. Губкина:

Температура, °К	$< 0,3T_{пл}$	$(0,3 \div 0,5) T_{пл}$	$(0,5 \div 0,7) T_{пл}$	$> 0,7T_{пл}$
C_w	1,1—1,25	1,25—1,75	1,75—2,5	2,5—3,5

Через $T_{пл}$ обозначена температура плавления стали по абсолютной шкале температур ($^{\circ}\text{K}$). Приведенные выше значения скоростного коэффициента показывают, во сколько раз увеличивается сопротивление деформации при переходе от скоростей испытательной машины ($W = 1 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$) к ударному нагружению. Затем устанавливают степень деформации при последнем ударе молота (по графику рекристаллизации для данной стали выбирают степень деформации, которая меньше критической, выше которой происходит интенсивный рост зерна; обычно $\varepsilon = 0,06 \div 0,1$). Работу деформирования $A_{ос}$ при последнем ударе определяют по формуле (62). Учитывая к. п. д. удара $\eta_{уд}$ (обычно равен 0,8), требуемая энергия удара молота

$$A_{\phi} = \frac{A_{ос}}{\eta_{уд}}. \quad (63)$$

Учитывая скоростной коэффициент, общую работу деформирования за всю операцию осадки по формуле (60) находят

$$A_{общ} = A_{ос} C_W. \quad (64)$$

Число ударов молота

$$n = \frac{A_{общ}}{\eta_{уд} A_{\phi}}. \quad (65)$$

Аналогично проводят расчет и для других операцийковки на прессе или молоте (протяжка, раскатка и т. д.). Однако для подбора оборудования необходимо ориентироваться на наиболее тяжелые условия работы. Обычно им соответствует операция осадки. Если ее не применяют при ковке, то для подбора оборудования берут следующую по трудности операцию, учитывая минимально возможную температуру металла в конце операции, наибольшую площадь обжатия, максимальную скорость деформирования и т. п.

Усилие закрытой прошивки на прессах определяют по формуле (54). Величина F_k в данном случае является площадью поперечного сечения прошивня (в мм^2), $p_{уд}$ при 1200°C принимают равным 20—40% от сопротивления деформации стали в ненагретом состоянии. Например, для снарядной стали с $\sigma_b = 800 \text{ МН/м}^2$ при прошивке $p_{уд} = 245 \div 343 \text{ МН/м}^2$. При открытой прошивке величина усилия меньше.

Удельное усилие

$$p_{уд} = \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d}{h}\right) \left(1 + 1,15 \ln \frac{D}{d}\right), \quad (66)$$

где d — диаметр прошивня, мм; h — толщина выдры, мм; D — диаметр заготовки в момент прошивки, мм.

После установления типоразмера оборудования уточняют технологический процесс по операциям и увязывают его с тепловым режимомковки. Помимо обеспечения необходимой струк-

туры металла тепловой режим, и в частности температурный интервалковки, обуславливает определенную длительность остывания заготовки. Это дает возможность установить времяковки. Если этого времени не хватает, то применяютковку в два выноса с промежуточным подогревом металла. При ковке поковок роторов и других тяжелых поковок число выносов иногда достигает 8—10 и более. Продолжительность операций определяют при нормировании процесса по элементам. Необходимое времяковки зависит от быстроходности оборудования, степени механизации вспомогательных работ и применения специализированного инструмента, что, в свою очередь, определяется серийностью производства данного типа поковок. В индивидуальном производстве поковок времяковки относится к вспомогательному времени (выемка из печи, подача к прессу, установка, повороты, кантовки и т. д.) как 1 : 2 и даже 1 : 3. По этой причине при разработке технологических процессовковки следует использовать все имеющиеся возможности для организации специализированного производства поковок и обеспечения его экономической эффективности (унификация поковок, кооперирование и т. д.).

Одним из средств увеличения производительностиковки является разработка группового технологического процесса для групп классифицированных поковок. При типовой технологии легче механизировать и автоматизироватьковку для группы поковок.

По данным окончательно установленного технологического процесса определяют себестоимость поковок и деталей, получаемых из них (методики расчетов см. в гл. X). В заключение просматривают технологический процесс с точки зрения условий техники безопасности работы и охраны окружающей среды. Это особенно важно при использовании новых установок, механизмов и приспособлений.

Все технологические расчеты вносят в специальную ведомость, называемую на заводах картой технологического процесса. Эта карта является основным производственным документом кузнечного цеха, поскольку дает представление о всех элементах технологического процесса, порядке его исполнения и технико-экономических характеристиках производства даннойковки. На различных заводах применяют карты, содержание которых несколько отличается одно от другого. При большой номенклатуре поковок и более простых технологических процессах применяют сокращенную карту, которую называют операционной или маршрутной. В такой карте отсутствуют подробные сведения о химическом составе и механических свойствах стали, а указываются лишь марки стали; вместо эскизов переходов дают только их названия, инструмент не нумеруют, а указывают его тип и т. д. Соблюдение режима, указанного в карте, является обязательным. Могут быть изменены лишь темпы вспомогательных работ для ускорения операций после извлечения заготовки из печи.

Для облегчения трудоемкой работы по составлению большого числа технологических разработок (на ряде заводов они исчисляются многими сотнями и даже тысячами в год) применяют машинный способ проектирования. Автоматизированная система проектирования технологииковки включает: систему кодирования входной информации, программу технологических расчетов и систему декодирования с целью получения технологической документации. В таком виде машинное проектирование не отличается по содержанию от ручного проектирования по заранее намеченной схеме. В процессе проектирования технолог вносит рациональные или даже оригинальные решения в отдельные элементы разрабатываемой технологии, что требовать от машины нельзя. Однако, если технолог в состоянии просчитать обычными средствами два-три варианта (реже больше), выбрав из них лучший, то при машинном проектировании число вариантов не ограничено. Более того, при машинном проектировании возможна оптимизация разработки по всем элементам проектируемого процесса. Рассмотрим кратко содержание работ при машинном проектировании.

1. Система кодирования, которая представляет собой преобразование исходной информации, задаваемой в виде отдельных цифр, таблиц, графиков, формул и даже текстовых формулировок, в особую цифровую форму, в которой все необходимые сведения для проектирования расположены в определенном порядке групп цифр. По способу использования исходную информацию подразделяют на входную (переменную), которая относится только к данной поковке (данные о форме и размерах поковки, номере чертежа и заказа, марка стали и т. д.), и на постоянную, относящуюся к характеристике оборудования, инструмента, а также нормативы, коэффициенты и т. п. Количественную информацию задают числом, а качественную — с помощью кодирования (используют коды или кодировочные таблицы). Однако для упрощения можно кодировать и цифровую информацию — температурный интервалковки, соотношение размеров заготовки и т. д. Во всех случаях необходимо получить по возможности меньший объем закодированной информации. Для кодирования геометрической информации наиболее простая система относится к поковкам в виде тел вращения.

2. Проектирование чертежа поковки. Эта часть работы представляет собой ряд последовательных преобразований контура поковки в связи с назначением припусков, допусков и напусков. Уже на этой стадии проектирования решаются задачи оптимизации, так как необходимо установить наиболее выгодный вариант упрощения контура поковки при наименьшей ее массе. Для осуществления расчетов составляют алгоритм и блок-схему решения.

3. Проектирование технологии изготовления поковки. Вначале приводят в надлежащий вид для формализации нормативно-справочные и методические материалы с тем, чтобы проектирование

свести к определению некоторой суммы чисел, отвечающих технологическим параметрам. Конкретно решают вопросы выбора типоразмера оборудования, типа и размеров заготовки, вида и числа переходов, температурковки и способа охлаждения поковки. Проектирование технологии предполагает нахождение оптимального решения. В связи с этим формулируется главная цель или признак оптимизации: максимальная производительность, наивысшее качество или предельная экономичность процесса. Поскольку задача сводится к нахождению максимального или минимального значения используемых зависимостей, предполагается математическое описание возможных решений. Построение математической модели требует досконального ознакомления с рациональными вариантами технологических решений для данной поковки. Причем, если решение описывается системой чисел, а исследуемая функция обладает свойством непрерывности, то нахождение оптимума возможно с помощью дифференциального исчисления. В сложных случаях нерегулярности исследуемой функции используют линейное или динамическое программирование. Динамическое программирование предполагает поиск поэтапного оптимального решения, при котором применяют ряд специальных приемов.

4. Система декодирования результатов проектирования. Для возможности использования данных машинного проектирования соответствующие результаты должны быть выданы в виде технологической карты с включением в нее всех необходимых параметров процесса. Применительно к телам вращения получают карты, пригодные для использования без какой-либо доработки. Машинное проектирование для осадки, раскатки, деформации кольцевым инструментом,ковки валов и подобных процессов уже внедрено и все шире используется на отечественных заводах с большой номенклатурой изготавливаемых поковок. При заполнении технологических карт наиболее просто вводить в них нормативную информацию. Сложнее ввести эскизы поковок, переходов и операций.

Экономичность машинного проектирования обусловлена снижением времени (в 4—5 раз), стоимости проектирования и уменьшением расхода металла (на 3—5%) на припуски и напуски, а также в отходы. Не менее важно повышение научно-технического уровня проектирования. Дело в том, что в относительно простой системе разработки технологических процессов изготовления поковок используют не только точные и бесспорные положения (постоянство деформируемого объема и основанное на нем равенство модулей положительных и отрицательных деформаций, температурная зависимость сопротивления деформации и ряд других), но и многие данные эмпирического происхождения и частного значения. Ряд используемых материалов требует уточнения или упорядочения и трудно описывается математически из-за качественного и приблизительного характера. До сих пор скорость

деформации, ее неравномерность, сложность формы поковок, силы трения, время остывания металла, распределение напряжений и даже массу поковок учитывают по неточным или малодоверенным данным. Таким образом, автоматизация разработки технологии, требующая математического моделирования, несомненно, повысила научный и технический уровень проектных и конструкторских работ. С одной стороны, для математической модели требуются достоверные и упорядоченные данные, с другой стороны, полученные зависимости позволяют анализировать процессы, делать обобщения, находить новые решения. Вместе с тем нельзя не иметь в виду, что математизация не устанавливает закономерности, а лишь фиксирует их. Установление закономерностей не имеет ничего общего с формализацией имеющихся данных. Математическое моделирование следует рассматривать только как аппарат, но аппарат с большими возможностями для определения погрешностей и установления достоверности производимых измерений, расчетов и других результатов технических разработок.

5. Усовершенствованные технологические переходы и процессыковки

Рассмотрим технологические процессыковки в порядке возрастания степени их специализации и усовершенствования производства поковок. Вначале даны примерыковки на прессах, а затем — на молотах. Рационализацию изготовления поковок осуществляют в различных направлениях, основные из них состоят в приближении конфигурации поковок к формам деталей и уменьшении трудоемкости их производства. Помимо экономии металла, это обычно сопровождается увеличением производительности труда, сокращением технологического цикла и повышением качества поковок.

При ковке можно различать две группы поковок. В одну из них входят поковки массой от нескольких сот граммов до сотен килограммов, которые не подлежат штамповке только из-за небольшой серийности производства, когда затраты на штампы не окупаются и экономически более целесообразнаковка. Совершенствование процессов изготовления таких поковок состоит в унификации соответствующих деталей, группировании поковок по типам, кооперировании заказов на однотипные поковки и в других средствах укрупнения серийности производства с целью обеспечения окупаемости специализированных приспособлений и подкладного инструмента ковочного оборудования или закрепляемого штампового инструмента при переходе на штамповочное оборудование. В другую группу входят крупные поковки деталей машин массой от 3—5 т до сотен тонн, для которыхковка — единственный способ металлообработки давлением независимо от серийности их производства вследствие ограниченных мощностей

штамповочного оборудования. При переходе отковки к штамповке данной поковки мощность оборудования повышается в 5—10 раз.

Современный кузнечный агрегат для слитков любого необходимого развеса представляет собой систему программированного взаимодействия манипулятора для заготовки, перестановочного устройства для смены инструмента и прессовой установки, оборудованной автоматизированным устройством для обеспечения и контроля величины ходов по заданному режиму. Подобного вида кузнечный комбайн уже создан. Имеющиеся и сооружаемые металлургические печи позволяют изготавливать слитки массой в сотни тонн. На Ижорском заводе им. А. А. Жданова освоенаковка слитков массой 230 т, получаемых из металла одной мартеновской и двух электропечей для поволоков роторов мощностью генератора 1 200 000 кВт. Известнаковка слитков массой до 360—400 т и в перспективе возможнаковка слитков массой 500 и даже 600 т при наличии соответствующего кранового и печного хозяйств.

Задача постройки сверхтяжелых манипуляторов вполне разрешима. Известны манипуляторы для слитков массой 130 т. Системы мостовых кранов для работы со слитками указанного развеса также технически выполнимы. Несколько вариантов устройств для быстрой перестановки инструмента уже используют на отечественных заводах. Успешно эксплуатируют устройства, обеспечивающие в любом режиме точные ходы пресса (например, установка системы СШТ-11 Мосстанкина). Эти устройства предназначены для автоматического измерения высот и диаметров поволоков в процессековки и используются для автоматизации управления ковочным прессом. Обе задачи решены комплексно с помощью бесконтактных радиоизотопных конечных выключателей, что позволяет уменьшить припуски (в среднем на 30%), допуски (в 3—5 раз) и общую массу тяжелых поволоков (на 6—8%), а ковать поволоки повышенной точности, соответствующие 1-й группе точности ГОСТ 7062—67. Успешно используют средства ЭВМ для программирования технологических процессов обработки металлов давлением.

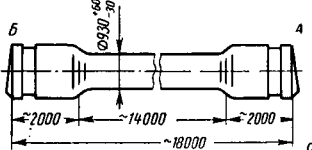
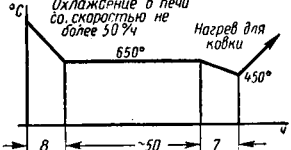
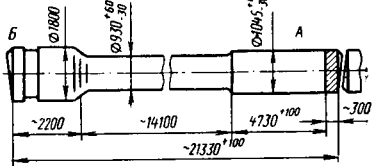
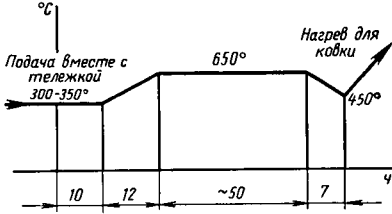
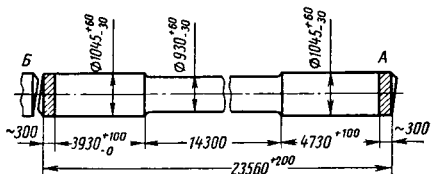
Ковка на прессах. Рассмотрим примеры технологических процессовковки крупных поволоков из отечественной и зарубежной практики с использованием новейших режимов, усовершенствованного инструмента и рациональных переходов, разработанных на научной основе теории обработки металлов давлением.

Изготовление поволоки колонны пресса усилием 118 МН усложнено двумя промежуточными термическими обработками, вызванными ответственным назначением детали (табл. 28). Колонну из среднеуглеродистой стали куют из слитка массой 242 т при горячей посадке в печь для нагрева до 1200° С за 52 ч (графики нагрева приведены в табл. 28). После биллетировки слитка на круг диаметром 2100 мм болванка трижды нагревается: для протяжки на восьмигранник, для отрубки концов и протяжки на круг диаметром 1800 мм и дляковки средней части поволоки на

Таблица 28

Технологическая картаковки колонны пресса (ЧССР)

Поковка детали: колонна пресса усилием 118 МН			№ чертежа	
			Размеры детали приведены в скобках на эскизе	
Химический состав стали, %	Баланс материала			Механические свойства стали
	Наименование	кг	%	
0,37—0,45 С 0,60—0,80 Мп 0,17—0,35 Si; 0,30 Сг, не более 0,30 Ni, не более 0,04 Р, не более 0,04 S, не более 0,07 (S+P), не более	Слиток Поковка Прибыльная часть слитка Донная часть слитка Окалина	242 000 140 000 63 500 14 500 24 000	100 58 26 6 10	$\sigma_B = 490 \text{ МН/м}^2$ $\sigma_T = 245 \text{ МН/м}^2$, $\delta_5 = 15\%$ Коэффициент уковки на разме- ре диаметром 1045 мм равен 6
Операция		Эскиз		
Посадка в печь и на- грев горячего слитка. Начальная темпера- тура печи 850 С				
Предварительная про- тяжка слитка на диаметр 2100 мм				
Нагрев в печи с вы- движным подом. Предва- рительная протяжка на восьмигранник толщиной 1800 мм. Рубка части А прибыльного конца слитка. Посадка в печь				

Операция	Эскиз
Нагрев в печи с подвижным подом. Рубка прибыльного и донного концов слитка. Повторная ковка на диаметр 1800 мм. Масса болванки ~160 000 кг	
Нагрев в печи с подвижным подом. Ковка средней части поковки до размера диаметром 930 мм	
Промежуточный отжиг всего изделия	
Нагрев в печи с неподвижным подом. Протяжка со стороны головной части А слитка. Окончание ковки при температуре 800° С	
Промежуточный отжиг всего изделия. После окончательной ковки стороны А изделие поступает в печь для отжига. Установка изделия в печь горячим концом и продвижение его через каждый час на 2,5 м	
Нагрев в печи с неподвижным подом. Охлаждение воздухом наружной части изделия. Окончательная ковка со стороны Б. Передача в цех для термической обработки	

диаметр 930 мм. После этого следует промежуточный отжиг болванки и нагрев для вытяжки головной части *A* слитка на диаметр 1045 мм. После повторного отжига болванки, нагретая конца *B* и его ковки на размер 1045 мм готовая поковка поступает на термическую обработку перед обдиркой. Окончательная термическая обработка завершается контрольными операциями.

Минимальный коэффициент уковки для части поковки диаметром 1045 мм равен 6. Выход годного составляет 58%. В окалину уходит 10% металла, на донную и прибыльную части слитка приходится 32% массы слитка (это отход сталелитейного производства).

Значительную экономию металла можно получить за счет правильного выбора формы и типа слитка. Увеличение серийности производства поковок при кооперации, унификации различных типов поковок, а также групповая технология позволяют не подбирать из имеющейся номенклатуры, а заказывать слитки оптимальных форм, размеров и типов. Вместе с тем известен положительный опыт некоторых зарубежных фирм, специализирующихся на изготовлении слитков всего двух-трех развесов независимо от номенклатуры изготавливаемых поковок. Хорошо отлаженная выплавка и ковка небольшого числа слитков (по массе) позволяет получать большие и малые поковки высокого качества.

Масса исходной заготовки может быть уменьшена при использовании удлиненных слитков с отношением $H_0 : D_0 \approx 4$. При разрубке слитка на части полученные заготовки можно подвергнуть осадке и применять при ковке шестерен, дисков, штамповых кубиков, колец и т. д. При использовании удлиненных слитков металл экономят за счет относительного уменьшения массы прибыли, составляющей в данном случае 10—12% от массы слитка и 2,0—2,5% от донной части.

Обычные кузнечные слитки можно отливать с плавающей надставкой. Это дает возможность изменять массу слитка до величины, при которой весь годный металл расходуют на поковку или часть его в виде годного остатка используют на другую поковку меньшего размера.

Л. Н. Соколов доказал возможность применения слитков конверторной стали в качестве кузнечных слитков, что расширяет номенклатуру слитков, используемых дляковки.

Для полых поковок можно применять обычные слитки без прибыли или с уменьшенной прибылью. При ковке из крупных слитков поковок типа колец, бандажей, цилиндров, как известно, применяют прошивку полыми прошивнями. При этом вместе с выдрой и при механической обработке удаляют дефекты осевой части слитка. В данном случае прибыльные части слитков могут быть уменьшены или их совсем может не быть.

В зависимости от предъявляемых требований полые поковки подразделяют на две группы в соответствии с условиями эксплуатации детали: первая — внутренняя зона деталей является не-

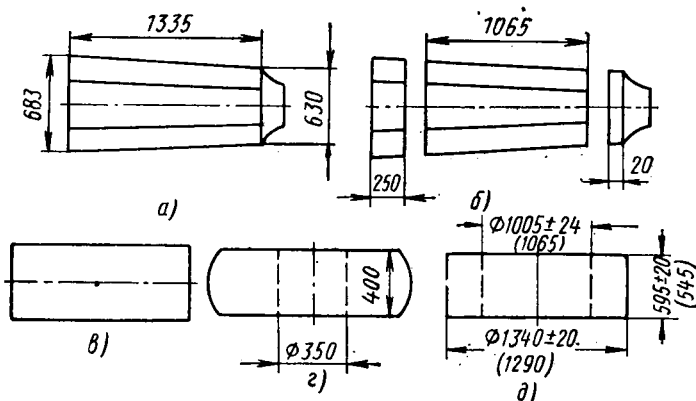


Рис. 124. Переходы при ковке бандажей из бесприбыльного слитка:

а—слиток; б—слиток после удаления головной и донной частей; в—сбилетированная болванка; г—поковка после осадки; д—раскатанная поковка

рабочей или неотвественной, вторая — внутренняя зона является ответственной с определенными механическими свойствами и качественной макроструктурой. Для первой группы можно применять бесприбыльные слитки даже в том случае, когда после механической обработки дефекты из их осевых зон остаются на поверхности внутреннего отверстия. Для таких поволоков оставляют уменьшенную прибыль, если по технологическому процессу необходима цапфа под патрон.

Для второй группы поволоков бесприбыльные слитки можно применять при условии, если после прошивки и механической обработки внутреннего отверстия все дефекты осевой зоны будут удалены. На Уралмашзаводе установлены объемы и сечения металла, удаляемого из осевой зоны слитков, при которых на внутренней поверхности детали не остается следов дефектов:

$$V_{\text{отх}} = (0,25 \div 0,3) V;$$

$$d_{\text{пр}} = (0,5 \div 0,6) D_{\text{вп}},$$

где $V_{\text{отх}}$ — суммарный объем отходов (осевой отход, угар, стружка из осевой зоны слитка); V — объем корпуса слитка; $d_{\text{пр}}$ — приведенный диаметр суммарного отхода из осевой части слитка ($d_{\text{пр}} = \sqrt{1,28 \frac{V_{\text{отх}}}{H_0}}$); $D_{\text{вп}}$ — диаметр окружности, вписанной в основание корпуса слитка; H_0 — высота корпуса слитка.

Меньшие коэффициенты (в скобках) следует принимать для малоответственных деталей при небольшой массе слитков, большом осевом отходе и небольшой осадке заготовки перед прошивкой.

На рис. 124 показан пример ковки бандажа из бесприбыльного слитка, прибыльная часть слитка уменьшена до 9—13%.

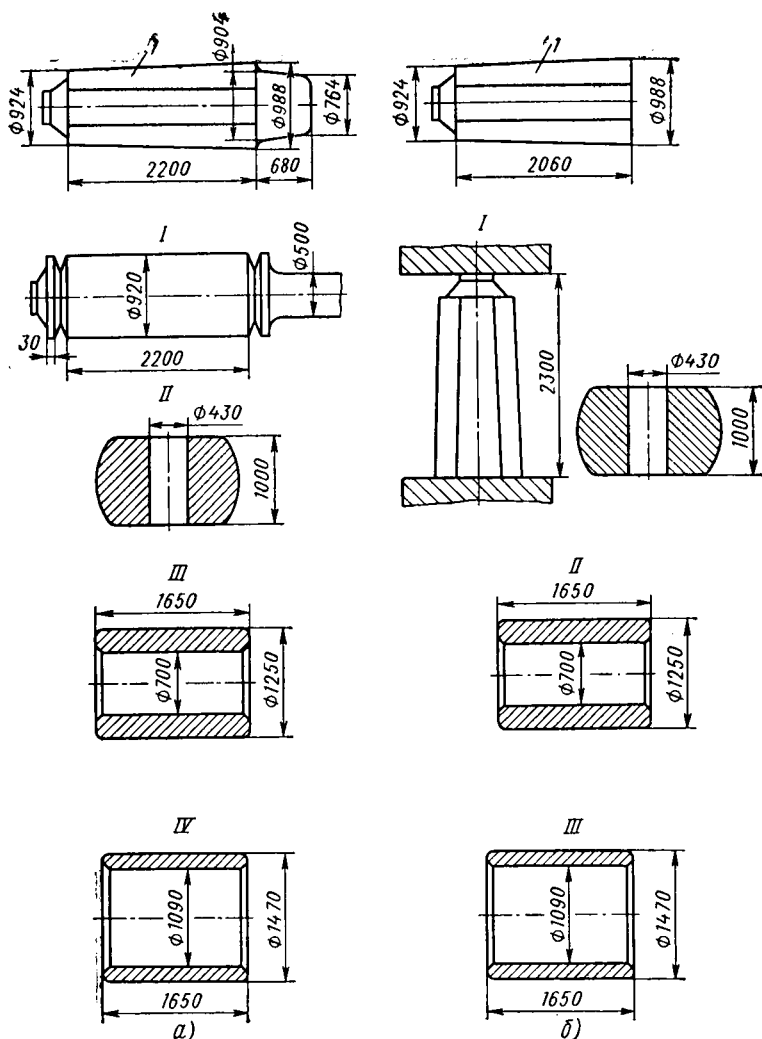


Рис. 125. Схемыковки цапф:

а — из обычного слитка массой 15 т с биллетировкой; б — из бесприбыльного слитка массой 11,5 т без биллетировки (Уралмашзавод); I — исходный слиток. Нагрев: I — первый; II — второй; III — третий; IV — четвертый

На отечественных заводах (Уралмашзаводе, НКМЗ, ЖЗТМ и др.) используют бесприбыльные слитки сталей 60ХН, 50Х, 60ХГ, 35ХНМА и других с повышением выхода годного на 20—25%.

В отдельных случаях эти слитки можно ковать без биллетировки (рис. 125). По такой технологии куят поковки типа венцов, бандажей, колец и цапф. Опыт указанных заводов показывает

возможность рационализацииковки за счет устранения биллети-ровки без снижения качества и механических свойств поковок из углеродистых и среднелегированных пластичных сталей.

Вначале осадки многогранных слитков, когда пластичность литого металла может оказаться недостаточной, деформация происходит без увеличения периметра слитков за счет превращения их многогранного сечения в сечение, близкое к кругу. Когда периметр осаживаемого слитка начинает увеличиваться и появляются растягивающие деформации, сталь уже немного прокована и эти деформации не опасны.

Возможность использования бесприбыльных слитков для сплошных поковок ограничивается некачественной сердцевиной таких слитков, поскольку усадочная раковина и рыхлость распространяются на большую глубину, что приводит к необходимости использования такого неэкономного способа прошивки, как прошивка пустотелыми прошивнями (см. рис. 100).

Для поковки сплошных ковок ответственного назначения (например, дисков турбин) применяют иногда следующий способ удаления некачественной осевой зоны слитков. После биллети-ровки и удаления головной и донной частей слитка, его осаживают примерно до $\frac{1}{3}$ высоты биллета и затем подвергают протяжке так, чтобы диаметр осаживаемой заготовки стал осью протянутой заготовки. При этом вся осевая область слитка оказывается сосредоточенной в средней части длинной заготовки, которую затем разрубает на три части, среднюю из них не используют, а из двух крайних изготавливают поковки. Отход при таком способе относительно велик и поэтому описанный способ применяют лишь в крайних случаях. Другой более экономный по расходу металла, но трудоемкий способ состоит в следующем. После биллети-ровки и отделения головной и донной частей слиток осаживают и прошивают полым прошивнем для удаления некачественного металла. Затем заготовки протягивают по схеме квадрат-круг в направлении, перпендикулярном оси, и разрубает по месту отверстия. На этом заканчивается подготовка заготовки к ковке по обычной технологии. По такой схеме на Ново-Краматорском заводе были изготовлены ответственные поковки дисков турбин, не имеющих отверстий. Более рациональные способы состоят в использовании вакуумированной стали, обладающей повышенным качеством, и в удалении ликвационной подраковинной зоны слитка, например смещением ее в область расположения отхода в слитке (рис. 126).

Дефектная часть слитка при ковке на прессе усилием 24,5 МН отделяется от периферийной части при внедрении клинового кольца, затем часть слитка высаживают за два приема, при этом дефектный металл оказывается в виде хвостовика, а периферийный металл слитка проковывается с заваркой дефектов. Во время всех описанных операций слиток находится в вертикальном положении в специальной матрице (рис. 126).

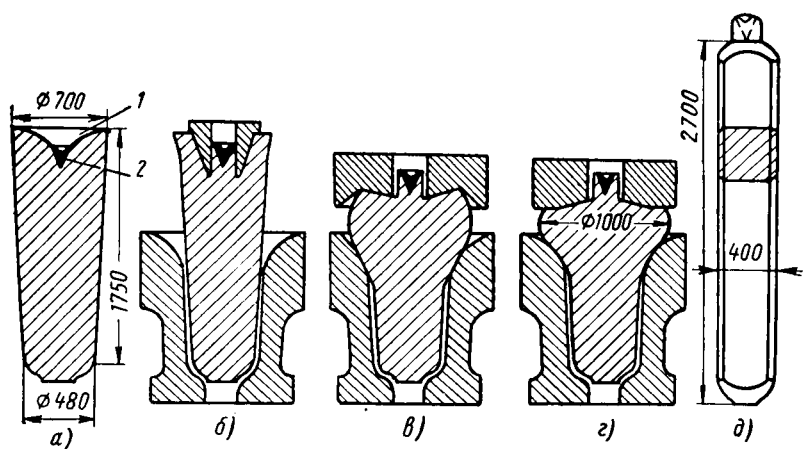


Рис. 126. Схема удаления дефектной зоны слитка:

a — слиток; *б* — прошивка конусным полым прошивнем; *в* — высадка кольцевой зоны слитка кольцом с выступом; *г* — высадка кольцом; *д* — протянутая заготовка; 1 — усадочная раковина; 2 — ликвационная зона

Слитки имеют уклон 12,5% и отношение $H_0 : D_0 = 2,5$. Установка и передвижение верхнего инструмента и матрицы, а также выталкивание поковки выполняют с помощью плунжера пресса; слиток и поковку перемещают два манипулятора. Окалину со слитка удаляют гидравлическим способом. Для быстрой смены верхнего инструмента он может быть смонтирован на передвижном приспособлении непосредственно на подвижной поперечине пресса. Применение описанного приема позволяет в среднем увеличить на 13% выход годного.

Дляковки пустотелых удлиненных поволоков протяжкой на оправке наиболее экономичными исходными заготовками являются полые слитки. Диаметр отверстия полого слитка

$$\frac{D_0}{4} \leq d_0 \leq \frac{D_0}{2,6},$$

где D_0 — наружный диаметр слитка; d_0 — внутренний диаметр слитка.

Полые слитки небольшой длины можно применять при ковке низких кольцеобразных поволоков и дисков (отношение $\frac{H_0}{D_0} \leq \leq 1,25$).

Структура полых слитков благодаря двустороннему отводу теплоты от стенок изложницы и внутреннего стержня значительно однороднее и мельче по сравнению со структурой обычных слитков, поэтому коэффициент уковки для разрушения литой структуры может быть уменьшен до 2.

Экономия металла при применении полых слитков достигает 25—30% за счет отсутствия осевого отхода уменьшения массы прибыли, поддона и угара при сокращенном числе нагревов. Применение полых слитков сокращает в 2—3 раза циклковки, так как при этом устраняются трудоемкие операции осадки и прошивки, сокращается в 2—3 раза расход топлива за счет уменьшения продолжительности нагрева и числа нагревов полого слитка. Качество поковок из полых слитков улучшается, а их механические свойства в поперечном направлении значительно повышаются.

На одном из отечественных заводов из пустотелых слитков (массой до 80 000 кг) изготавливают поковки барабанов котлов высокого давления. Слитки отливают в изложницы с секторным холодильником или с холодильником водяного охлаждения.

После затвердевания полый слиток с температурой 650—700° С поступает в кузнечно-прессовый цех для нагрева в печи. За первый вынос производят биллетировку и протяжку половины слитка на конусной оправке, отделку этой части до размеров поковки и надрубку прибыльной части. Протяжку ведут от прибыли к бурту пустотелой оправки, охлаждаемой водой. Затем заготовку снимают с оправки и сажают в печь донной частью слитка.

За второй вынос осуществляют биллетировку, протяжку на оправке, отделку второй части поковки и надрубку донной части. Далее поковка поступает на отрезку прибыльной и донной частей, после чего ее подвергают термической обработке — закалке в масле и высокотемпературному отпуску. Следующая операция — обдирка.

После обдирки поковка поступает в кузнечно-прессовый цех, где на прессе за два выноса производят окуполование в специальных бойках и окончательную термическую обработку.

По технологии, применявшейся до недавнего времени, поковку ковали из сплошного слитка массой 90 000 кг. За первый вынос оттягивали цапфы, биллетировали, отрубали поддон и цапфу. За второй вынос заготовку осаживали и прошивали пустотелым прошивнем. Прошитую заготовку протягивали на оправке за четыре выноса до поковочных размеров. Последующие операции по новой и старой технологии совпадают.

Усовершенствование технологии позволило сократить в 2 раза циклковки, сэкономить 10 т (13%) металла, уменьшить трудозатраты на 40%, снизить на 17% себестоимость. Полый слиток можно ковать и на прессе усилием 50 МН, тогда как дляковки по обычной технологии необходим был пресс усилием 100 МН.

В поковке из полого слитка не обнаруживается химической неоднородности ни по длине, ни по толщине стенки. Механические свойства по длине и сечению поковки равномерны, и их значения превышают предусмотренные техническими условиями.

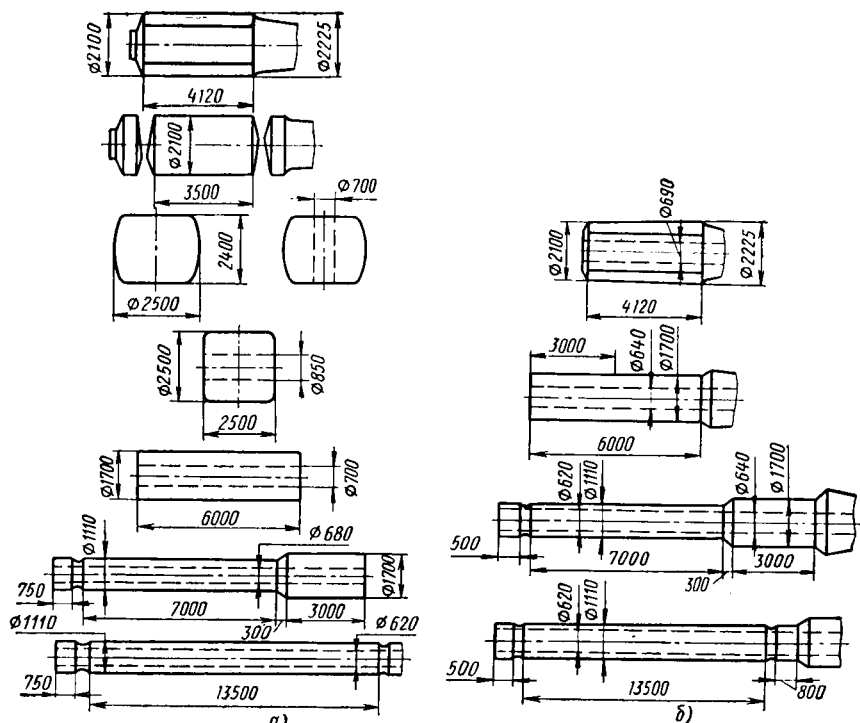


Рис. 127. Технологияковки пустотелых колонн:

а — из сплошного слитка; б — из полого слитка

На рис. 127 дана технологияковки пустотелой колонны из сплошного и полого слитков. Из сопоставления числа переходов и их сложности видны преимущества использования для поковок пустотелых слитков.

Крупные слитки из углеродистой стали и слитки любого размера из высоколегированной стали, выплавленной даже в вакуумных печах, обладают дефектностью в виде несплошностей, расположенных в осевой зоне, и различных типов ликваций (в том числе внецентровой). Наиболее качественный металл получают методами электродуговой плавки, электрошлакового переплава и электроиндукционной плавки. Одним из эффективных способов закрытия и заварки несплошностей слитков является ковка поверхностно подстуженных слитков.

В Московском институте стали и сплавов разработан способ, по которому слиток подстуживают одновременно с биллетировкой, а затем обжимают в комбинированных бойках с уковкой 1,3—1,5. В процессе этих предварительных операций происходит интенсивное подстуживание поверхности слитка вследствие его освобождения от рубашки из окалины и соприкосновения с относительно

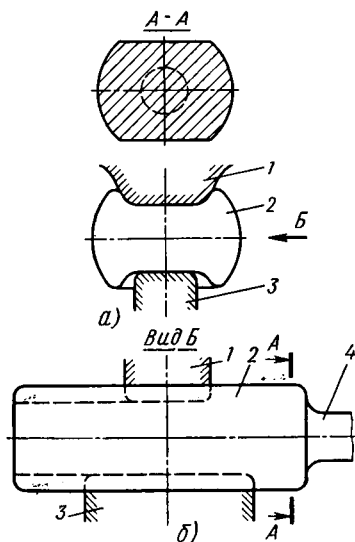


Рис. 128. Способ заварки внутренних пустот подстуженного слитка:

а—сбиллетированный слиток после образования на нем продольных лысок; б—обжатие узкими бойками для заварки пустот; 1—верхний узкий и короткий боек; 2—обжимаемый подстуженный биллет; 3—нижний, узкий, более длинный боек; 4—цапфа под патрон

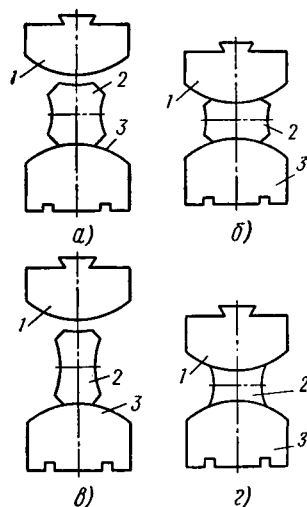


Рис. 129. Способ заварки внутренних несплошностей слитка (по В. А. Тюрину):

а—г—последовательные переходы протяжки; 1—верхний и 3—нижний бойки, выпуклые по фронту; 2—слиток

холодными бойками. В таком состоянии слиток обжимается на 10—15% без кантовки по

всей длине плоскими бойками с образованием продольных лысок. К этому времени поверхность слитка должна быть подстужена примерно до 800° С при температуре осевой зоны 950—1000° С. Затем следует основная операция по заварке внутренних несплошностей, которая состоит в обжатии по подготовленным лыскам (рис. 128) бойками, ширина которых меньше ширины лысок на величину, примерно равную толщине подстуженного слоя металла (определяют экспериментально по графикам остывания металла по сечению). При таком обжатии на 10—20% деформация сосредотачивается в осевой зоне и приводит к закрытию и заварке пустот слитка. Для обеспечения этого процесса верхний боек 1 в 1,5 раза короче нижнего, а обжатие происходит при последовательном перемещении заготовки вместе с нижним, более длинным, бойком 3 (с помощью подвижного стола прессы). Для получения примерно равных удельных сил от верхнего и нижнего бойков и одинаковых обжатий со стороны обоих бойков нижний боек 1 должен быть много уже верхнего 3 (на 25—30%). Другие схемы использования в технологических целях неравномерности тепловых полей были рассмотрены выше (см. рис. 49).

Преимущественные условия для проковки осевой зоны слитка возможно создать и без использования эффекта неравномерного температурного поля, за счет применения особой формы инструмента и заготовки (рис. 129). Многогранный слиток 2 обжимается бойками верхним 1 и нижним 3 с выпуклостью по фронту пресса. После очередного обжатия и кантовки на 90° заготовка имеет вогнутые боковые грани, которые оказывают подпирющее действие на осевую зону и способствуют появлению дополнительного сжатия, необходимого для закрытия и заварки пустот.

Поскольку в настоящее время средства повышения качества крупных поковок во многом исчерпаны, технологам приходится обращать внимание и на металлургическую сторону кузнечных слитков. Обычно форма этих слитков удовлетворяет условиям кристаллизации и другим требованиям металлургов. Исходя из этих требований, но с учетом рациональных схем течения металла, при ковке возможны новые формы кузнечного слитка. Одно из этих новшеств — использование дляковки круглых и квадратного сечения поковок прямоугольных слитков, форма которых такая же, как у слитков, применяемых для прокатки листовой заготовки (слябов). Положительный промышленный опыт по прокатке на квадрат и круг прямоугольных слитков, а также моделированиековки прямоугольных слитков убеждают в целесообразности описываемого процессаковки. Обжатие по большей грани прямоугольного слитка в какой-то степени заменяет его осадку, но при этом может быть использовано оборудование в 2 раза меньшей мощности, чем при осадке.

Разработанный в МИСиС кузнечный слиток (рис. 130) удовлетворяет требованиям кристаллизации и рациональнойковки одновременно. Слиток имеет три выступа, расположенных под углом 120° , общей площадью более $1/2$ общей площади сечения слитка, что упрощает проработку металла и средней части сечения. Впадины между выступами имеют вогнутую форму граней, при выпрямлении которых действуют напряжения сжатия. Обжатие выступов в вырезных бойках (рис. 130, а) сопровождается подпирющим действием горизонтальных составляющих действующих сил. При ковке в комбинированных бойках (рис. 130, б) целесообразна опора плоского бойка на два выступа, которые в самом начале обжатия несколько деформируются, но основная деформация приходится на среднюю часть слитка, как и в предыдущем случае. Обжатия с кантовкой на 120° для проковки средней

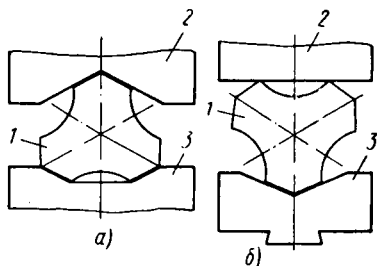


Рис. 130. Новая форма кузнечного слитка 1, способствующая интенсификации проковки его осевой зоны, и бойки 2, 3, обеспечивающие отсутствие деформаций растяжения в периферийной области обжимаемого слитка (МИСиС)

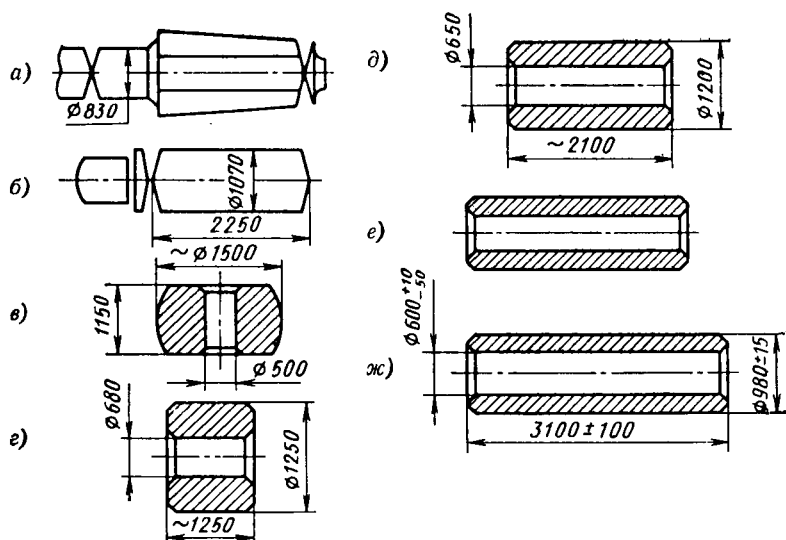


Рис. 131. Ковка пустотелого барабана массой 11,6 т из слитка 22 т за шесть выносов:

а — оттяжка цапфы, отрубка донной части; б — биллетировка и отрубка прибыли; в — осадка и прошивка отверстия диаметром 500 мм; г — раскатка до диаметра 680 мм; д — протяжка на длину 2100 мм; е — окончательная протяжка до 3100 мм; ж — поковка (по Б. А. Трифонову)

части могут быть незначительными, последующие обжатия — как обычно. При ковке в комбинированных бойках высоко пластичной стали возможна кантовка на 180° с переходом к кантовке на 90° . При опытной ковке таких слитков с вплавленными для контроля продольными стержнями при средней уковке 1,3 деформация осевой зоны составляла 71%, тогда как в опыте со слитком обычной (восьмигранной) формы при уковке 1,5 деформация осевой зоны — только 56%. Использование такой формы кузнечного слитка улучшает проработку его осевой зоны и сокращает продолжительность технологического цикла.

Ковка поковки барабана из коррозионно-стойкой стали за шесть выносов представляет особый интерес. Такую поковку куют на одном из крупнейших в СССР прессов усилием 120 кН. Ковка включает все типовые операции, кроме продольной протяжки: биллетировку, отрубку, осадку, прошивку, раскатку и протяжку на оправке (рис. 131). Интервал температурковки от $1120\text{—}1150$ до 950°C составляет $170\text{—}200^\circ\text{C}$. На первых четырех выносах используют плоские бойки, а на остальных — комбинированные вырезные. Прошивают сплошным прошивнем с двух сторон. Особый интерес представляет протяжка на конической оправке (650/620 мм), которую выполняют после небольшой раскатки вслед за прошивкой для выравнивания поверхности прошитой заготовки. Этапы протяжки включают обжатие конца

заготовки на ступени 1, 2, 3 со стороны бурта оправки (рис. 132, а) до момента плотной посадки заготовки на оправку в месте ее наибольшего диаметра. Затем следуют аналогичные обжатия (рис. 132, б) с посадкой противоположного конца заготовки (ступени 4, 5, 6) на более тонкой части оправки. Далее происходит постепенное обжатие средней части заготовки, причем правый ее конец сползает на более тонкую часть оправки с образованием зазора между ней и заготовкой.

Предпоследний этап (рис. 132, в) — протяжка на заданную длину. После этого обжимают металл ступени 2, удлинения могут распространиться только в сторону, противоположную бурту (заготовка упирается в него), и это способствует отрыву готовой поковки от конусной оправки. Необходимость протяжки при минимальных зазорах между оправкой и заготовкой объясняется условиями образования трещин на внутренней поверхности выходного конца поковки, которые часто встречаются при ковке коррозионно-стойких, жаропрочных и других труднодеформируемых или малопластичных сплавов.

Схема образования трещин показана на рис. 133. Опасные условия протяжки создаются из-за больших зазора (он максимален

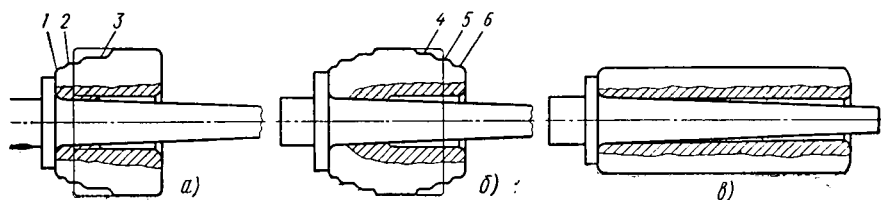


Рис. 132. Этапы протяжки прошитой заготовки на конической оправке

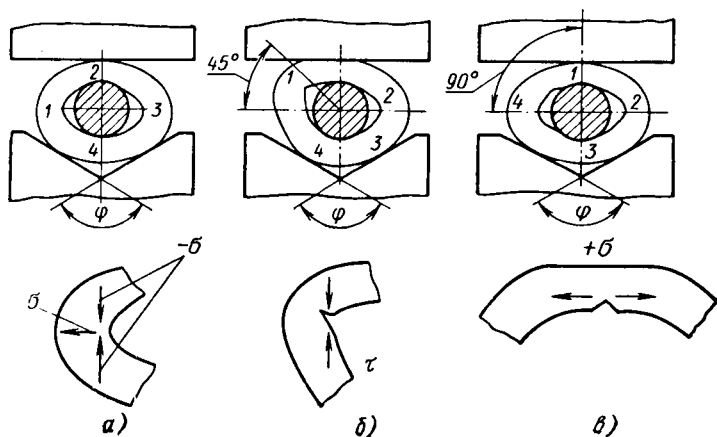


Рис. 133. Схемы образования и раскрытия трещин при протяжке на оправке;

1—4 — области заготовки (по Б. А. Трифонову)

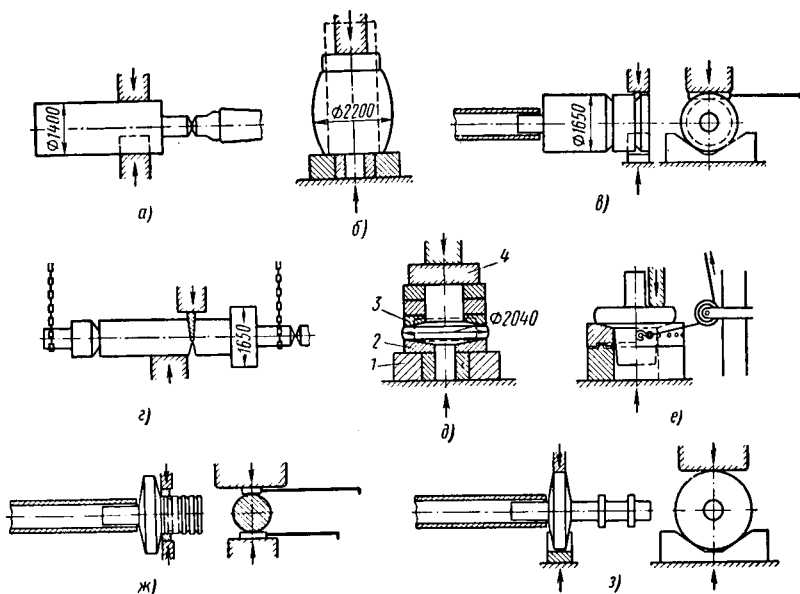


Рис. 134. Переходы при ковке вала с фланцем большого диаметра

на правом конце заготовки и составляет около 30 мм) и угла φ выреза при малом угле γ охвата бойков (на рис. 133 $\varphi = 120^\circ$ и $\gamma = 60^\circ$) вследствие больших обжатий до плотной посадки заготовки на оправку. При первом большом обжатии области 1 и 3 заготовки подвержены наружному растяжению (рис. 133, а). Если это не вызывает наружных трещин отрыва, то при обжатии после кантовки на 45° (рис. 133, б) область 1 заготовки подвержена большим напряжениям сдвига в том месте, где металл при предыдущем обжатии подвергся сжатию и вероятность трещинообразования повышена. В еще большей степени образование или дальнейшее раскрытие трещин в области 1 происходит при обжатии после следующей кантовки на 45° (рис. 133, в) под действием напряжений растяжения. Если протяжку проводят с кантовкой на 90° , то схема образования трещин, показанная на рис. 133, в, не изменяется. Для устранения опасности образования трещин целесообразны минимально возможный зазор по оправке и протяжка заготовки бойками с повышенным углом охвата (например, $\varphi = \gamma = 90^\circ$).

Для сокращения числа выносов целесообразно использовать более производительные вырезные бойки. Работой П. Ф. Иванушкина, Б. Е. Каргина и других доказано увеличение производительности протяжки на 20% при переходе от комбинированных бойков к вырезным при $\gamma = 120^\circ$.

Одно из направлений усовершенствования технологииковки крупных поковок состоит в применении обойм, колец и даже подкладных (не закрепляемых) штампов для полного или частичного оформления поковок. Долгое время считали, что применение таких приспособлений дляковки крупных поковок усложняет процесс. Однако в последнее время появляется все больше примеров усовершенствования оснастки при ковке даже самых крупных поковок. На рис. 134 приведен технологический процессковки вала с большим фланцем из слитка массой 62 000 кг. После биллетировки нижним вырезным и верхним плоским бойками (рис. 134, а) и осадки на плоском кольце (рис. 134, б) болванки скругляют на размер 1650 мм, выполняют засечку для последующего образования малой цапфы вала и фланца, а также отделку малой цапфы до заданного размера (рис. 134, в). Затем протягивают остальную часть слитка на диаметр, равный диаметру большой цапфы, делают засечку на длине, соответствующей объему этой цапфы, и отрубают годный остаток (рис. 134, г). Ступенчатую заготовку (рис. 134, д) вставляют малой цапфой в кольцо 1, фланец оформляют между двумя вогнутыми кольцами 2 и 3; большая цапфа не деформируется, так как тоже находится внутри набора колец с цилиндрическими отверстиями. Затем всю систему колец накрывают накладкой 4, на которую и нажимает верхний боек прессы. На рис. 134, е показаны секционная отделка фланца и приспособление для поворота заготовки в случае, если мощность прессы недостаточна для операции. На рис. 134, ж и з видны операции обжатия фланца и перековка большой цапфы на длинную цапфу с двумя ребордами. На рис. 135, а показана оснастка для высадки бочки ротора диаметром 1250 мм и фланца такого же диаметра для колеса Кэртиса (рис. 135, б).

Еще большая специализацияковки поковок может быть достигнута за счет тщательной обработки технологии и конструирования инструмента, пригодного дляковки группы поковок различной конфигурации. Технологическая целесообразность использования приспособлений и подкладных штампов часто входит в противоречие с экономической эффективностью их применения при малосерийном производстве поковок. Для увеличения серийности производства используют унификацию различных поковок и группировку их по однотипности. Если и эта возмож-

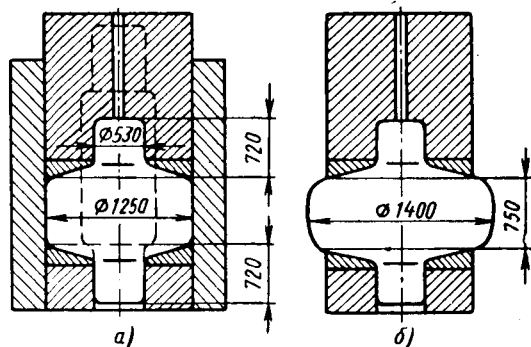


Рис. 135. Инструмент для оформления бочки ротора в процессековки (ЧССР)

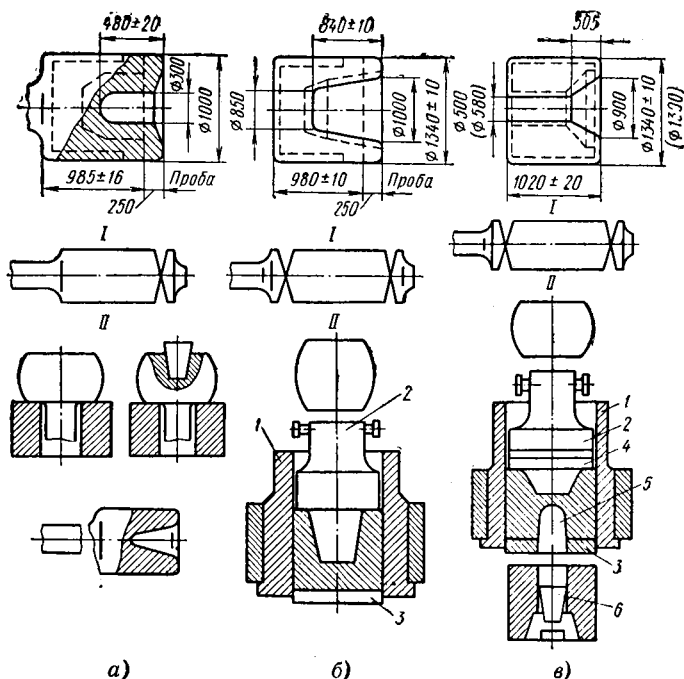


Рис. 136. Групповая ковка полых поковок (по Б. А. Трифонову):

1 — обойма; 2 — пуансон; 3 — подкладка; 4 — кольца; 5 — прошивень; 6 — специальный прошивень; I — предварительная обработка слитка; II — осадка и ковка в специализированном и переналаживаемом инструменте

ность исчерпана, то дальнейшая групповая технология может быть осуществлена за счет применения различных комбинаций из элементов приставных штампов. Из опыта одного из крупнейших отечественных кузнечных цехов на рис. 136 даны примеры технологических процессов изготовления ковки крупных поковок доньшек обычным способом (рис. 136, а) и с применением специального инструмента (рис. 136, б). При ковке слитков подвергают сложной обработке, при которой его биллетируют, осаживают, прошивают, обкатывают с боковой поверхности. В заключение удаляют хвостовой отход поковки. При использовании подкладного инструмента технологический процесс значительно упрощается. Поковку доньшка оформляют в обойме 1, стягиваемой обечайкой при деформации сбиллетированного и осаженого слитка между пуансоном 2 и подкладкой 3 (рис. 136, б). При внедрении пуансона 2 в заготовку происходит выдавливание металла, который силами трения увлекает обойму 1 вверх, навстречу движению пуансона. Чтобы металл не вытекал за пределы полости обоймы, в нижней части отверстия обоймы предусмотрена подкладка 3, которая остается на нижнем бойке при подъеме

обоймы и обеспечивает замкнутость полости инструмента во время всего периода деформации.

В результате применения этой технологии слиток массой 20 400 кг был заменен слитком массой 16 000 кг, масса поковки уменьшилась с 13 200 до 10 600 кг, а коэффициент использования металла увеличился с 0,34 до 0,44. Несмотря на такой значительный эффект, получаемый от применения подкладного штампа, окупаемость дополнительных расходов могла быть достигнута только при использовании приспособления для значительного числа поковок. С этой целью подкладной штамп был использован для изготовления другой поковки (рис. 136, в). При изготовлении поволоков горловин использованы та же обойма 1 и пуансон 2, на которой были надеты кольца 4 для уменьшения глубины получаемой полости. Для получения полости с противоположной стороны подкладка 3 выполнена с отверстием, в которое вставлен прошивень 5. После окончания деформации поковка выдавливается из обоймы; перемычка просекается специальным прошивнем 6 с образованием выдры. В этом случае экономия металла, полученная на каждой поковке, составляет 2100 кг. После тщательной проработки технологических процессов описанный инструмент был применен еще для ряда поволоков. При изменении числа колец, надеваемых на пуансон, формы прошивней и подкладных колец, удастся применять комбинированную оснастку для многих типов поволоков, что позволяет свести к минимуму дополнительные затраты на инструмент.

Помимо экономического эффекта применение описанных приспособлений обеспечивает значительное улучшение качества поволоков и повышение служебных характеристик детали. Особенно это важно для деталей высокоответственного назначения типа валов, дисков, турбин и т. п.

Современный технологический процесс для крупных дисков (например, для дисков диаметром 1330 мм и толщиной полотна 90 мм) характеризуется следующими особенностями (рис. 137).

1. Применением разгонного бойка при осадке заготовок, что позволяет хорошо проработать ту часть поковки, из которой затем формируется ступица диска.

2. Оформлением ступицы при осадке заготовки на подкладном кольце, что исключает утяжку при высоте ступицы.

3. Разгонкой полотна диска узким бойком, производимой со стороны торца диска, противоположного ступице, что исключает появление радиальных трещин и искажения формы ступицы.

Известен вариантковки дисков (диаметром 1065 мм и толщиной 320 мм), при котором не только ступичная часть, но и полотно диска размещаются в полости подкладного штампа.

Для дополнительной проработки осевой области слитка в технологическом процессе изготовления поковки турбинного диска непосредственно перед его оформлением предусмотрено осевое обжатие слитка куполообразным инструментом (рис. 138, а).

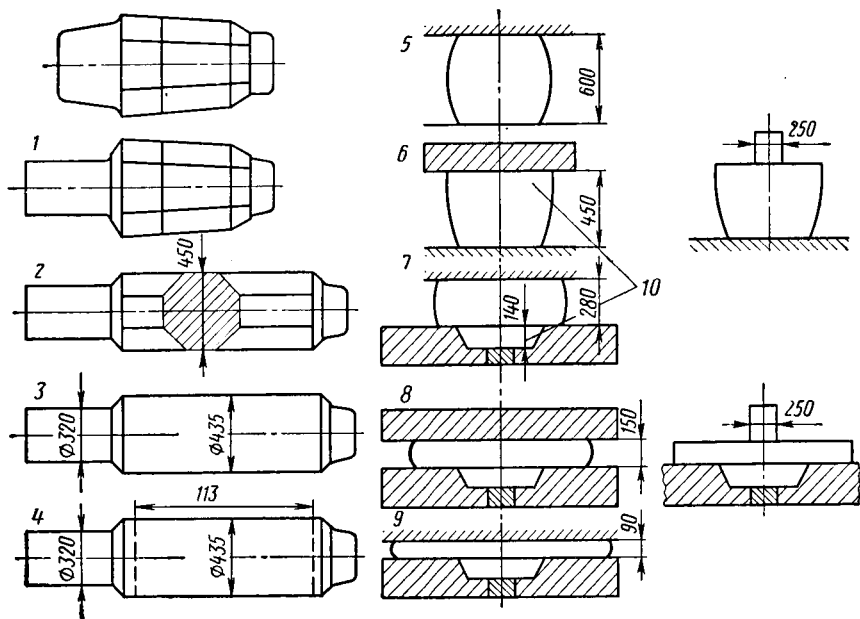


Рис. 137. Переходы при ковке поковки диска из слитка с тремя различными уклонами по длине:

1 — образование цапфы; 2 — протяжка на восьмигранник; 3 — протяжка на круг; 4 — отрубка; 5 — осадка; 6 — разгонка узким бойком; 7 — осадка в кольце; 8, 9 — разгонка полотна диска; 10 — верх слитка

В дальнейшем поковку осаживают и оформляют с применением асбестовых прокладок 1 и 2 (НКМЗ). При ковке подобных дисков на Уралмашзаводе (рис. 138, б) используют осадку в ограничительном кольце и затем формовку в подкладном кольце. По сравнению с предыдущей технологией здесь удастся создать более благоприятные условияковки, используя повышенное гидростатическое давление. При ковке дисков из аустенитной стали приходится считаться с ее склонностью к образованию поверхностных дефектов (трещин, надрывов и т. п.), что иногда вызывает необходимость промежуточной обдирки заготовок. По этой причине описанная оригинальная технология с применением куполообразного инструмента может оказаться неприемлемой. В Московском институте стали и сплавов разработана конструкция инструмента, который кроме верхнего и нижнего конусных знаков 3 с плоским торцом имеет на верхней части ограничительное кольцо, увеличивающее среднее напряжение шарового тензора при обжатии осевой зоны слитка и его радиальной раздаче. В нижнем конусном знаке 3 имеется отверстие 4 для размещения хвостовика (рис. 138, в).

Наиболее прогрессивным технологическим процессом изготовления дисков является ковка секционным инструментом.

В зависимости от размеров диска и имеющегося в цехе оборудования применяют двух-, трех- (рис. 139) и многосекционный инструмент типа составных профильных бойков или штампов. Заготовкой для секционной обработки может служить литая и затем прокованная на круг заготовка из установки непрерывной разливки стали или откованная из слитка круглая болванка, которую предварительно можно осадить всеми секциями инструмента до размеров, определяемых предельным усилием прессы (рис. 139, а). Затем происходит деформация центральным пуансоном, расположенным соосно с заготовкой (рис. 139, б), и последовательно кольцевыми секциями (рис. 139, в и г). Конструкция инструмента предусматривает быструю перестановку устройства для введения в действие необходимой секции.

Соотношение диаметров пуансона и секций должно учитывать усилие P прессы:

$$P = p_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = p_2 \frac{\pi (d_2^2 - d_1^2)}{4} = p_3 \frac{\pi (d_3^2 - d_2^2)}{4},$$

где p_1 ; p_2 ; p_3 — удельные усилия, необходимые для осадки отдельных частей (секций) заготовки; d_1 ; d_2 ; d_3 — наружные диаметры секционных пуансонов.

Секционным способом отковывают диски не только из углеродистой и низколегированной сталей, но и из жаропрочной стали,

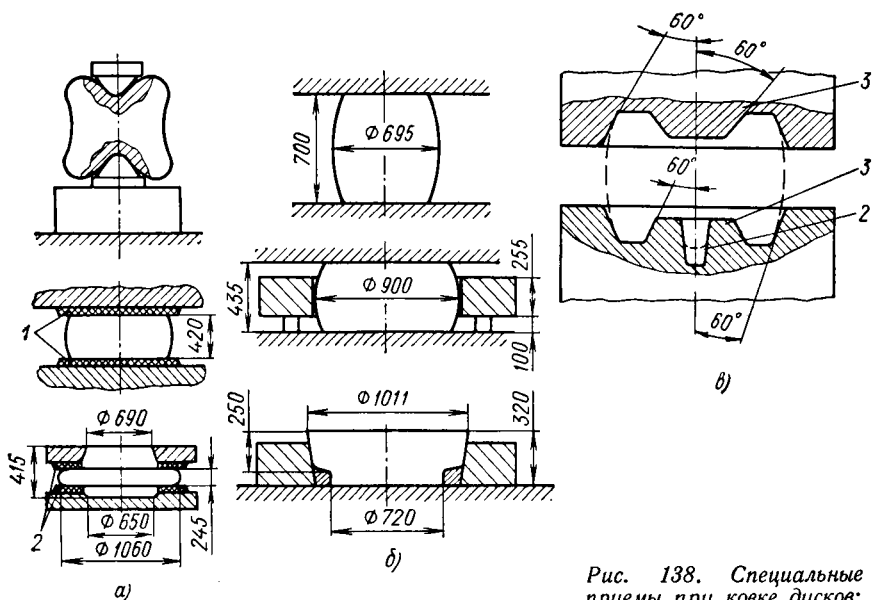


Рис. 138. Специальные приемы при ковке дисков:

а — применение куполообразного инструмента и асбестовых прокладок; б — применение ограничительного и оформительного колец; в — специализированный инструмент для обжатия осевой зоны слитка при боковом подпоре

причем получают необходимые механические свойства, макро- и микроструктуру дисков.

Работа центрального пуансона аналогична работе сплошного прошивня (см. рис. 99). При большой величине внедрения пуансона в заготовку радиальная деформация приводит к отслаиванию металла от нижней части боковой поверхности пуансона. Затем при осадке наружной части заготовки кольцевыми секциями появляется опасность образования кольцевой складки. Как установили Е. И. Семенов и С. А. Скородумов, при обычном отношении исходных размеров заготовки $2 < \frac{D_0}{H_0} < 3$ и при $d_3 = 0,8 \div 0,9 D_0$

(рис. 139) складки не образуются у дисков с $\frac{D_K}{H_K} = 5 \div 8$. Для бездефектной секционнойковки дисков в пределах $\frac{D_K}{H_K} = 9 \div 18$ отношение размеров исходных заготовок должно быть $\frac{D_0}{H_0} = 3 \div 6$.

В указанных пределах секционнуюковку можно выполнять без предварительной осадки всеми секциями инструмента (рис. 139, а). При внедрении секционнойковки дисков на заводах (Невский машиностроительный, «Экономайзер») экономия металла составила 40—45% по сравнению с обычнойковкой дисков.

Ковка на молотах. В технологическом отношении ковка на молотах во многом сходна с ковкой на прессах, в частности, одинаковы операции осадки, протяжки, прошивки и др. На мо-

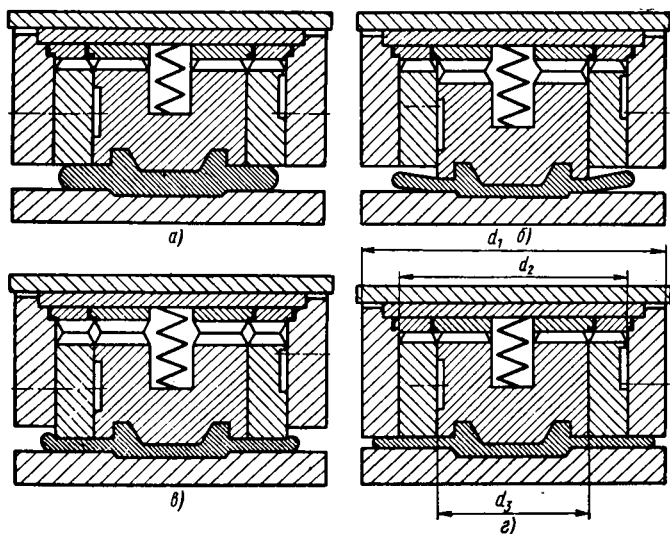


Рис. 139. Схема изготовления поволоков дисков трехсекционным инструментом:

а — предварительная осадка; б — штамповка внутренним пуансоном; в — штамповка первой и г — второй кольцевыми секциями (по А. В. Алтыкису)

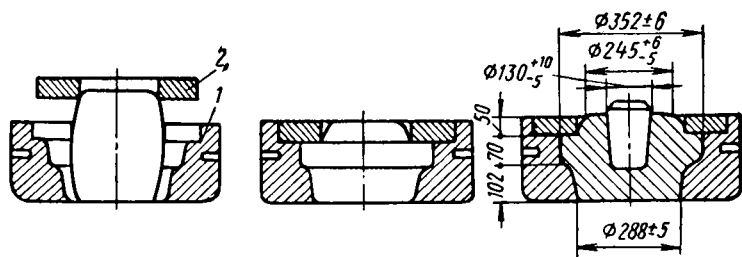


Рис. 140. Переходы при специализированной ковке под молотом поковки муфты

лотах куют слитки углеродистой стали массой 2—3 т и слитки легированной стали массой до 1 т. Однако для молотов также типична ковка прокатных заготовок. Ниже даны примерыковки прокатных заготовок преимущественно с использованием подкладных штампов.

Номенклатура поковок дляковки на молотах чрезвычайно разнообразна. При использовании универсального инструмента в виде бойков, пережимок, прошивней, топоров и другого получают различного вида гладкие и ступенчатые валики, фланцы, обечайки, рычаги, шестерни, коленчатые валы и другие поковки (см. рис. 64). Соответствующие операции и приемы были рассмотрены в параграфе 2 настоящей главы. Ниже рассмотрены усовершенствованные технологические процессыковки, применяемые в тех случаях, когда использование специальных приспособлений, подкладных штампов и другого специализированного инструмента оправдывается соответствующими технико-экономическими показателями (увеличением производительности, снижением себестоимости, улучшением качества и др.). Например, поковку зубчатой муфты изготавливали осадкой в кольцах с последующей прошивкой. Ковка поковки на одном из отечественных заводов в подкладном штампе позволила сократить ее массу на 9%.

Технологический процесс (рис. 140) заключается в следующем: заготовку диаметром 220 мм и высотой 385 мм устанавливают в нижник 1 и слегка осаживают для выравнивания неровностей торцов заготовки. Затем накладывают кольцо 2 на заготовку и осаживают ее до соприкосновения кольца с нижником, потом прошивают. Для пробивки отхода штамп переворачивали с помощью верхнего бойка молота (на рис. 140 эта операция не показана).

Поковку ролика (рис. 141) изготавливают в двух подкладных кольцах. Обкатанную заготовку осаживают в первом кольце без образования заусенца. Затем высаженную заготовку устанавливают во второе кольцо, состоящее из обоймы и разъемной матрицы. При таком технологическом процессе экономится 12 кг металла, исключается обточка по наружному контуру, снижается общая трудоемкость обработки на станках примерно на 50%.

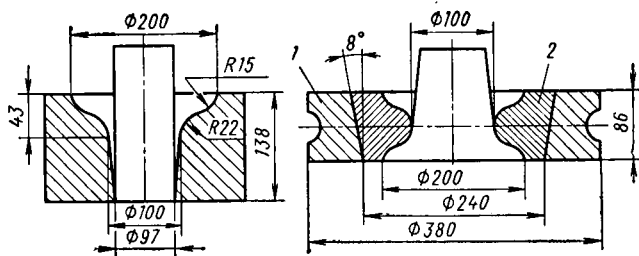


Рис. 141. Переходы при специализированном изготовлении поковки ролика:

1 — обойма; 2 — разъемная матрица

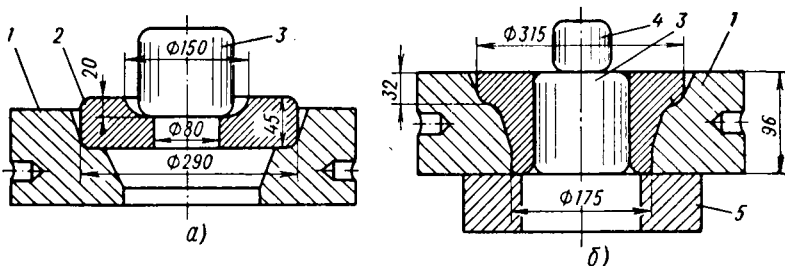


Рис. 142. Ковка фланцев способом отбортовки

Подкладные инструменты в отдельных случаях позволяют применять особые приемы. Например, при ковке фланцев применяют отбортовку (рис. 142). Исходную мерную заготовку осаживают на плоских бойках, затем цилиндрической оправкой прошивают углубление, равное 20 мм. В центре углубления прошивают отверстие диаметром 80 мм (эта операция на рис. 142 не показана). Далее подогретую заготовку 2 укладывают в подкладное кольцо 1 (рис. 142, а). При помощи оправки 3 выполняют отбортовку и заполняют полость инструмента; затем оправку прогоняют через отверстие поковки с помощью подставки 4 меньшего диаметра, для чего подкладное кольцо 1 устанавливают на опору 5 (рис. 142, б).

К недостаткам обычной технологииковки роликов для прокатного оборудования (рис. 143) относятся следующие: большие припуски поковки на механическую обработку, два нагрева, выход годного, составляющий ~86 %, низкая производительность труда.

С применением в новом технологическом процессе (рис. 144) специализированных бойков (рис. 145) с ручьем, обеспечивающим форму бочки ролика, эти недостатки устранены. За один нагрев в каждой поковке куют два ролика. На бойках формируют бочки роликов, а также оттягивают и отрубают концы поковки. Технологияковки следующая: ковка в профильном ручье после-

довательно двух бочек длиной 272 мм (см. рис. 144, а); протяжка металла между бочками на размер 640 мм и отрубка от штанги (рис. 144, б); протяжка вторых концов роликов и их разрубка (рис. 144, в). Экономия металла на каждой детали составляет 10 кг. Значительно увеличена производительность. Этот пример характеризует переходный этап между ковкой в подкладных и закрепленных штампах. Фасонные бойки (рис. 145) еще не являются типичными штампами, но они относятся к закрепляемым инструментам, а их ручки имеют сходство с подготовительными ручьями штампов объемной штамповки.

Описанные примеры расположены в порядке увеличения степени специализации производства поковок. По мере увеличения серийности их производства возможность специализации технологических процессов еще более увеличивается. При достижении

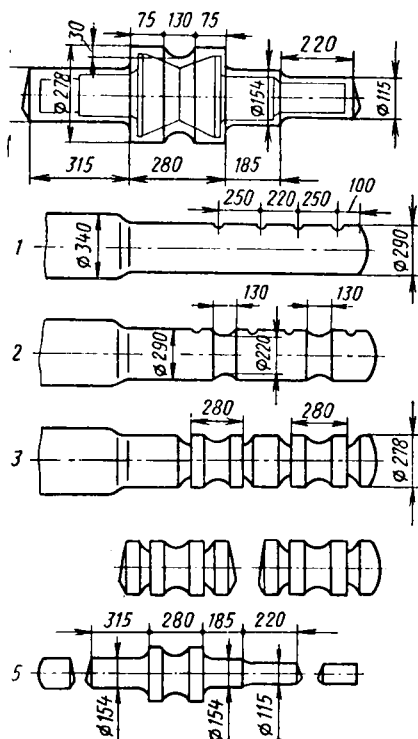


Рис. 143. Ковка ролика;

1 — протяжка, разметка, наметка двух роликов; 2 — обжатие выемок роликов; 3 — оформление двух роликов; 4 — отрубка и разделение роликов; 5 — отделка цапф до заданного размера (размеры по переходам даны не в масштабе)

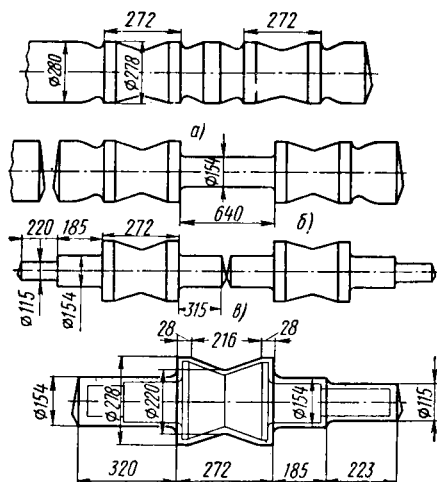


Рис. 144. Технологический процессковки роликов

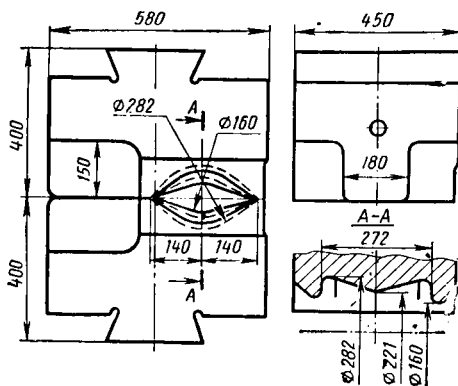


Рис. 145. Профильные специализированные бойки дляковки роликов

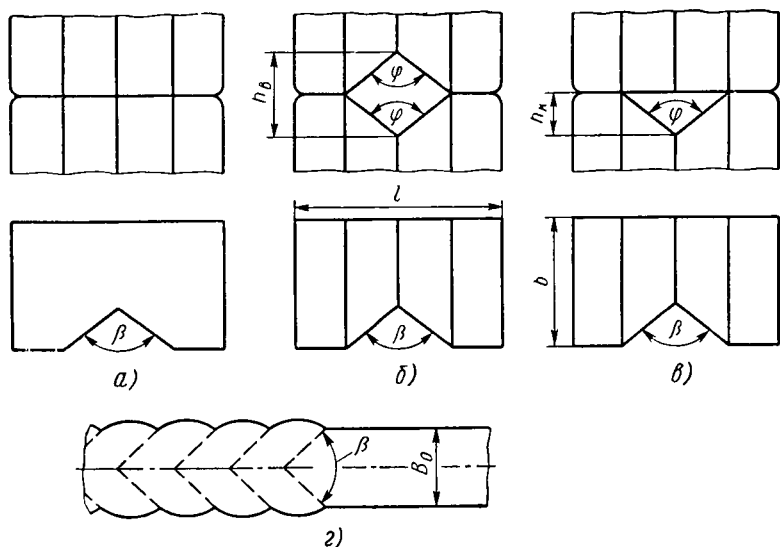


Рис. 146. Разновидности бойков дляковки с криволинейным фронтом подачи;

a — плоские бойки с угловым вертикальным вырезом под углом β ; *б* — то же вырезные бойки с высотой выреза h_b ; *в* — то же комбинированные бойки с высотой выреза h_k (МИСиС); *г* — вид сверху на протянутую заготовку; φ — угол обычного выреза бойков

критических серийностей, определяемых экономическим расчетом (см. гл. X), становится целесообразной объемная штамповка в закрепленных штампах.

Одно из направлений совершенствования технологииковки связано с применением новых форм кузнечного инструмента. После того, как установили, что интенсивность проковки металла зависит от величины и числа плоскостей максимального сдвига в очаге деформации, в Московском институте стали и сплавов была разработана конструкция бойков, обеспечивающих непрямолинейный фронт подач. Простейший вариант таких бойков — это круглые в плане плоские бойки, при ковке которыми границы подач криволинейны (описаны радиусом круглых бойков). Такие бойки могут быть вырезными или комбинированными. С криволинейной границей подач можно ковать призматическими бойками с вертикальным дополнительным вырезом под углом β и углом обычного выреза (рис. 146). При ковке такими бойками сохраняются их особенности, но очаг деформации получает иную форму (в данном случае елкообразную, на рис. 146, *г* она ограничена штриховыми линиями), причем в зависимости от величины угла β вертикального выреза уширение происходит не под прямым углом к направлению подач, а плоскости максимального сдвига получают увеличенной протяженности и поверхности.

Это способствует повышению турбулентности деформации и, как следствие, ее уменьшению для разрушения литой структуры и достижения оптимальных механических свойств металла.

Для ускорения протяжки разработана конструкция инструмента с поперечной к направлению подач выемкой в плоских бойках. Обжимают одновременно двумя выступами, образующими выемку, что требует увеличения мощности оборудования в 2 раза.

Известна так называемая косая ковка, при которой направление подачи находится под углом 45 или 60° к фронту подач. В этом процессе очаг деформации получается в виде параллелограмма в плане, а уширение под углом соответствует скосу подач. Преимущество косойковки состоит в повышении однородности деформации, однако производительность этого процесса ниже, чем при обычной ковке.

При ковке малопластичной стали сдвиговые деформации могут быть более опасными, чем нормальные. Для «смягчения» границ сдвига разработаны бойки с входным конусом. От обычных эти бойки отличаются наличием входной части, выполненной в виде поверхностей перехода к рабочим граням под углом, меньшим угла трения во избежание выталкивания заготовки вместо ее обжатия. При ковке этими бойками, разработанными В. И. Залесским, обжатие нарастает постепенно по мере прохождения заготовки через входной конус, а между смежно обжимаемыми участками нет резко очерченной границы, что предотвращает трещинообразование.

РАЗНОВИДНОСТИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

1. Общие сведения о штамповке поковок

В отличие отковки, которая обеспечивает в процессе обжатия заготовки фиксированные размеры вдоль одной или двух осей, объемная штамповка обеспечивает заданные размеры по трем осям. Для этого процесса применяют инструмент, имеющий две или большее число частей, при сопряжении которых образуется объемная полость по форме штампуемой поковки. Этот специализированный инструмент называется штампом. Таким образом, нет штампов вообще, а есть штампы для определенной поковки. Чем больше номенклатура штампуемых изделий, тем больше число требующихся штампов. Расходы на штампы должны окупаться экономией металла и на механическую обработку поковок, а также за счет увеличения производительности труда. Чем выше серийность производства, трудоемкостьковки и сложность поковок, тем целесообразнее переход отковки к штамповке.

В отличие от упрощенных подкладных штампов, применяющихся в специализированном производстве поковокковкой, при объемной штамповке используют закрепляемые штампы, имеющие более совершенную конструкцию.

Большое число разнообразных форм и размеров штампованных поковок, а также различных металлов, применяемых для их изготовления, привело к возникновению нескольких разновидностей процесса штамповки и соответственно различных типов штампов и используемого при этом оборудования. Масса падающих частей наиболее крупных молотов, используемых для штамповки, достигает до 25 000 кг. В СССР изготавливают молоты тринадцати типоразмеров с массой падающих частей 630—25 000 кг. Энергия удара бесшаботных молотов достигает 1,5 МДж. Усилия кривошипных прессов достигают 100—120 МН при наименьшем усилии 6,2 МН. Фрикционные прессы изготавливают усилием 0,4—6,2 МН, горизонтально-ковочные машины двенадцати типоразмеров отечественного производства — 1—31,5 МН. Усилия гидравлических прессов для горячей штамповки значительно больше усилий ковочных прессов. В СССР уже много лет эксплуатируют прессы усилием 750 МН. Кроме того, у нас в стране изготавливают новейшее обо-

дование для горячей штамповки — скоростные молоты, гидро-винтовые молоты и специализированные штамповочные установки.

Типовая схема технологического процесса объемной штамповки приведена на рис. 147. Объемная штамповка является производительным и дешевым процессом и широко распространена в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности. Весьма широко объемную штамповку применяют в автомобилестроении, вагоностроении и тепловозостроении, в производстве дорожных машин, швейных машин, подъемно-транспортного машиностроения, станкостроения, железнодорожных деталей, бурильного, слесарного, медицинского инструмента, сельскохозяйственных машин и многих других производствах.

При штамповке процесс формоизменения независимо от вида используемого оборудования состоит из следующих основных этапов: подготовительных операций (фасонирование заготовок); оформления поковки и отделочных операций. Методически удобнее вначале рассматривать процесс оформления поковок, а затем соответствующие приемы и способы фасонирования заготовок.

Серийное производство поковок различными способами объемной штамповки осуществляют на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах. При штамповке на этом универсальном оборудовании может быть использован любой из основных типов штампов: открытый (штамповка с заусенцем); закрытый (так называемая безоблойная штамповка) и штамп для выдавливания металла.

Процесс штамповки заключается в принудительном перераспределении металла заготовки, соответствующем по форме полости штампа. Полость штампа называется ручьем. Поковку оформляют в окончательном (или чистовом) ручье; фасонирование заготовок происходит в подготовительных ручьях. Если штамповке подвергают заготовку без фасонирования в штампах и за одну операцию, то такая штамповка называется одноручьевой в отличие от многоручьевой штамповки. Одноручьевую штамповку фасонной заготовки можно выполнять, если фасонирование осуществляют не в штампах (используют прокат периодического профиля, литую фасонную заготовку и т. п.).

Для вкладывания заготовки в ручей и извлечения из него поковки штампы снабжены одним или двумя разъемами. В зависимости от типа штампа окончательные ручьи и соответственно форма готовых поковок одного и того же наименования отличаются друг от друга. Существенные различия наблюдаются в макроструктуре поковок вследствие неодинаковых условий течения металла при их изготовлении в открытых, закрытых и в штампах для выдавливания. Поскольку макроструктура металла определяет прочность и долговечность штампованных деталей машин, указанное обстоятельство принимается во внимание при технико-экономическом выборе типа штампа.

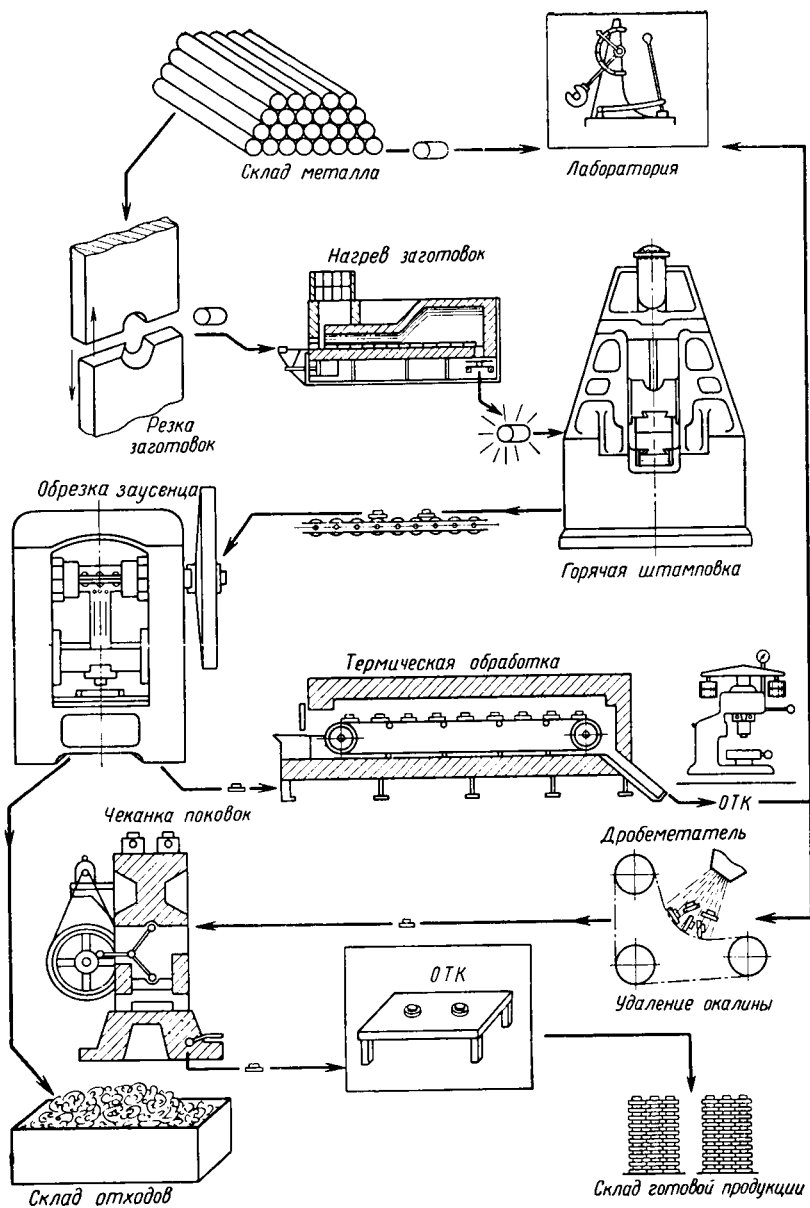


Рис. 147. Общая схема технологического процесса горячей штамповки поковок

2. Штамповка в открытых штампах

Этот способ штамповки характеризуется образованием заусенца, выполняющего некоторые технологические функции. Типичными машинами-орудиями для этого способа штамповки являются молоты и прессы.

Сущность данного процесса легко уяснить на примере штамповки цилиндра (рис. 148). В простейшем случае (рис. 148, а) цилиндрическая полость штампа выполнена в одной части штампа 2, вторая часть штампа представляет собой плоский боек 1. Если объем заготовки $V_{\text{заг}}$ равен объему полости штампа $V_{\text{ш}}$, то штамповку можно было бы представить оконченной при соприкосновении частей инструмента 1 и 2. Однако этого соприкосновения не произойдет. Вследствие появления контактных сил трения T на боковой стенке полости $P = R + T$ и $R < P$, в результате удельная нормальная сила в нижней части полости будет меньше, чем в верхней. Это приводит к вытеканию части металла в заусенец толщиной h'_3 между частями штампа 1 и 2, а нижние углы полости при высоте поковки $H'_{\text{пок}}$ будут незаполненными (рис. 148, а, левая часть). Если продолжить штамповку до толщины заусенца h_3 и высоты поковки $H_{\text{пок}}$, то все равно углы не смогут заполниться, так как часть металла уже вытекла за пределы полости.

Если увеличить объем заготовки до $V_{\text{заг}} > V_{\text{ш}}$, то можно добиться заполнения полости при толщине заусенца h_3 и высоте поковки $H_{\text{пок}}$ (рис. 148, а, правая часть). Это произойдет вследствие того, что тонкий заусенец в конце концов создаст достаточное противодавление, металл прекратит дальнейшее вытекание за пределы полости и вынужден будет затечь в углы. Следующие трудности составит извлечение поковки, поскольку она удерживается в цилиндрической полости силами трения (на рис. 148 они не обозначены). Удаление поковки из штампа облегчается, если боковые стенки полости сделаны с уклоном α (рис. 148, б, левая часть), а поковка с напуском, хотя это и связано с искажением формы поковки (усеченный конус вместо цилиндра),

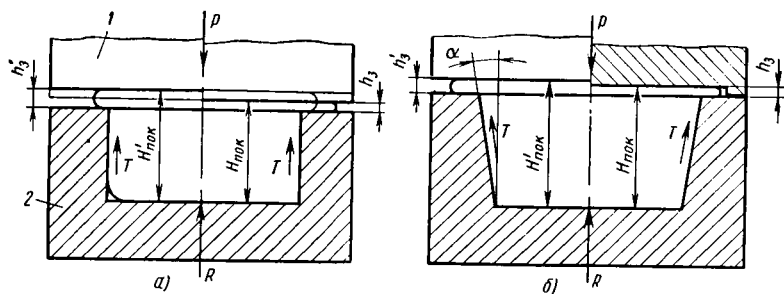


Рис. 148. Схемы, поясняющие процесс штамповки в открытом штампе

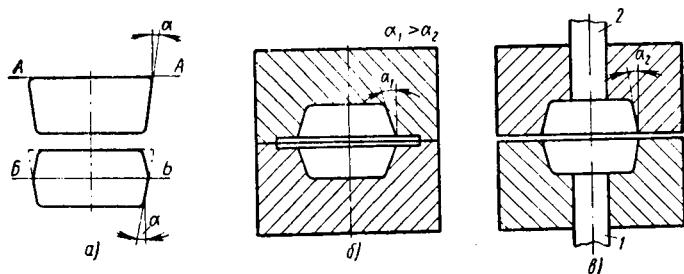


Рис. 149. Схемы штамповки в открытых штампах:

1 и 2—выталкиватели; α_1 —уклон штампа без выталкивателя; α_2 —то же с выталкивателем

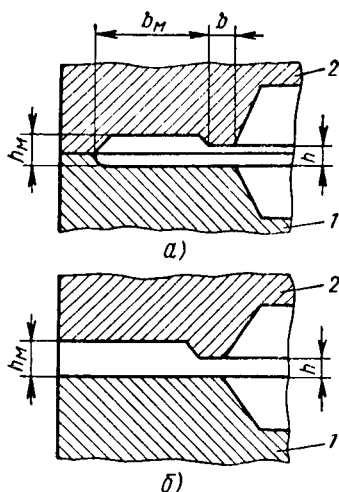
а также с увеличением объема заготовки и поковки. Изготовление цилиндрической детали из конической поковки приводит к дополнительным отходам металла в стружку. Кроме того, при данной схеме штамповки на машинах со свободным перемещением рабочих органов (молоты и гидравлические прессы) нельзя гарантировать точности размера $H_{\text{пок}}$. В связи с этим применяют штамп по схеме на рис. 148, б (правая часть). При этом на машинах со свободным ходом штампуют до соприкосновения частей штампа между собой; высота поковки $H_{\text{пок}}$ и их объем $V_{\text{пок}}$ — заданные величины, даже если объем различных заготовок $V_{\text{заг}}$ неодинаков из-за наличия допусков на прокатку и резку. Колебание объемов различных заготовок приводит к неодинаковому объему заусенца и примерно к одинаковым по объему поковкам. Это и составляет основное достоинство открытых штампов.

Для уменьшения отходов металла в напуски $V_{\text{нап}}$, вызываемые наличием штамповочных уклонов α (рис. 149), плоскость разреза штампа АА (рис. 149, а) смещают к средней плоскости ВВ поковки, форма которой становится в виде формы двух усеченных конусов, сопряженных большими основаниями. При этом штамп изготавливают по схеме, показанной на рис. 149, б, которая характерна для открытых штампов. Для уменьшения уклонов применяют штампы с выталкивателями 1 и 2 поковки из полости (рис. 149, в). Открытые штампы с выталкивателями применяют, например, на кривошипных прессах. После извлечения поковки из полости основного штампа обрезают заусенец в специальном обрезном штампе, обычно на вспомогательном обрезном прессе.

Поскольку заусенец выполняет определенную технологическую задачу — тормозит вытекание излишков металла из полости и этим самым обеспечивает заполнение ее углов, заусенец придают некоторую целесообразную форму. С этой целью заусенечную щель между частями штампов выполняют в виде специальной канавки (рис. 150). Если машина-орудие для штамповки имеет свободный ход (молот, гидравлические и винтовые фрикционные прессы), то окончание штамповки соответствует соприкосновению

Рис. 150. Две основные разновидности заусенечных канавок:

a — для машин со свободным ходом; *б* — для машин с регламентированным ходом; 1 — верхняя и 2 — нижняя части штампов



частей 1 и 2 штампов (рис. 150, *a*) и поковка получает окончательные размеры по высоте. Заусенечная канавка состоит из рабочей пороговой части (высотой в конце штамповки h и шириной b) и накопителя-магазина (высотой h_M и шириной b_M). Канавка штампов машин-орудий с регламентированным ходом (кривошипные, кривошипно-коленные прессы) имеет магазин открытого типа высотой h_M в конце штамповки (рис. 150, *б*).

Размеры магазина устанавливают такими, чтобы он заполнялся металлом в конце штамповки не более чем на $\frac{2}{3}$ (при наибольшем избытке металла в заготовке).

Штамповка в открытых штампах характеризуется следующими основными признаками.

1. Объем металла, находящегося в ручье, в процессе штамповки непостоянен $V \neq \text{const}$, при штамповке предусматривается вытеснение части металла в виде заусенца, который обеспечивает заполнение углов полости штампа, этот металл поступает в отход.

2. Направление вытеснения металла в заусенечную щель (поперечное) перпендикулярно направлению движения штампа, толщина заусенца в процессе штамповки уменьшается.

3. По месту обрезки заусенца волокна металла у поковки оказываются перерезанными.

4. Из заготовок с размерами низкой точности получают поковки с размерами более высокой точности за счет различного для каждой заготовки объема металла, вытесняемого в заусенец.

Заполнение ручья металлом можно разделить на несколько (например, четыре) стадий. Рассмотрим простейший случай (рис. 151).

В первой стадии происходит свободная осадка заготовки на величину ΔH_1 (рис. 151, 1). В более сложных случаях свободная осадка сопровождается частичным выдавливанием в дополнительные углубления полости или прошивкой металла с образованием выемок в поковке. На этой стадии штамповки усилие на деформацию относительно невелико (график справа на рис. 151, 1). На заготовку действуют внешняя сила P , ее реакция и силы трения T по торцам заготовки.

С момента соприкосновения заготовки с боковыми стенками штампа начинается вторая стадия штамповки (рис. 151, 2). Усилие

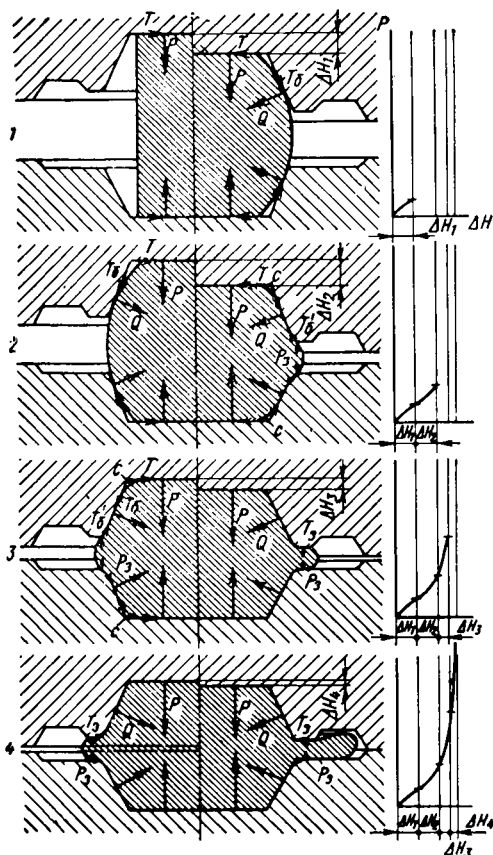


Рис. 151. Стадии течения металла при заполнении открытого штампа:

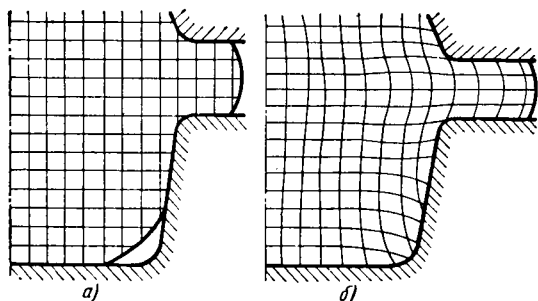
1, 2, 3, 4 — начальные (слева) и конечные (справа) положения стадий штамповки

на деформацию на этой стадии процесса возрастает (рис. 151, 2) вследствие повышения среднего напряжения шарового тензора из-за подпирающего действия боковых стенок Q штампа. Появляются силы трения T_b на боковой поверхности ручья. Эта стадия штамповки завершается при обжатии на ΔH_2 в момент начала образования заусенца.

На третьей стадии штамповки при обжатии на ΔH_3 (рис. 151, 3) избыточный металл заготовки вытекает в канавку. Объемное напряженное состояние металла в результате повышенного гидростатического давления становится более ярко выраженным,

в связи с чем интенсивнее возрастает усилие на деформацию (рис. 151, 3). Общее сопротивление деформации P возрастает еще и потому, что теперь приходится деформировать и заусенец (сила P_3 и ее реакция). К началу этой стадии штамповки незаполненными остаются лишь углы полости c . Вследствие течения металла в заусенец возникают силы трения T'_b на боковой поверхности у входа в канавку, направленные против сил трения T_b в области углов полости. Появляются также силы трения T_3 на заусенце. Третья стадия штамповки характерна тем, что в это время заусенец выполняет свою основную технологическую функцию — закрывает полость штампа. При дальнейшей деформации сопротивление выходу металла в канавку возрастает вследствие уменьшения высоты заусенечной щели. Так как сопротивление течению металла в незаполненные углы полости теперь меньше, чем в канавку, то к концу этой стадии ручей штампа оказывается заполненным. О деформациях в третьей стадии штамповки можно судить по изменению координатной сетки (рис. 152, б), нанесен-

Рис. 152. Деформация заготовки на третьей стадии штамповки в открытом штампе



ной на сечение заготовки по окончании второй стадии штамповки (рис. 152, а).

На практике всегда бывает четвертая стадия штамповки, если к моменту заполнения ручья поковка недоштампована, т. е. имеет высоту большую, чем по чертежу, на величину ΔH_4 (см. рис. 151, 4).

Для вытеснения из полости штампа избыточного металла приходится дополнительно затрачивать энергию за счет нанесения еще нескольких ударов. На этой стадии штамповки силы трения движения T_3 остаются лишь на заусенце. Увеличенная четвертая стадия штамповки наблюдается при чрезмерно большом объеме заготовки, при малой толщине перемычки заусенца h или при большой ширине порога b канавки (см. рис. 150). Сопротивление деформации на этой стадии штамповки быстро возрастает до наибольших величин. Для правильного представления о механизме заполнения полости штампа следует иметь в виду, что стадии штамповки следуют друг за другом не одновременно по всему периметру поковки. Исключение составляют поковки типа тел вращения, штампуемые в торец, для которых в большинстве случаев наблюдается одновременное по периметру возникновение и смена стадий штамповки. Для поволок сложной формы неодинаковое развитие третьей и четвертой стадий штамповки на разных участках по периметру легко обнаруживается при штамповке на молоте путем их рассмотрения перед последними ударами. Углы штампа заполняются вначале только в отдельных местах полости.

Для установления начала четвертой стадии штамповки на молотах необходимо прекратить процесс после первого, второго, и третьего и т. д. ударов и путем сравнения с эталоном поковки определить порядковый номер удара, при котором углы полости штампа можно считать окончательно выполненными, а высоту поковки больше допускаемой. Остальные удары молота затрачиваются на доштамповку поковки. Величину доштамповки устанавливают по разнице высот эталонной и рассматриваемой поволоки. Инж. В. Ф. Лошкарёв выполнил эксперименты, по которым установил относительную затрату энергии на выполнение четвер-

Данные, характеризующие четвертую стадию штамповки

Наименование поковки	Относительное число ударов для осуществления четвертой стадии штамповки, %	Относительное уменьшение толщины заусенца за четвертую стадию штамповки, %	Абсолютная величина деформации заусенца за четвертую стадию штамповки, мм
Втулка	30,0	25,0	1,3
Шестерня	41,7	47,0	1,8
Рычаг	42,1	33,0	1,5
Шатун	49,0	30,0	1,7

той стадии штамповки, судя по числу ударов на доштамповку поковки по высоте (табл. 29).

Для эксперимента были взяты одинаковые заготовки. Среднее число ударов определялось по десяти поковкам. Как следует из данных табл. 29, на четвертую стадию штамповки затрачивается 30—50% общей энергии, причем абсолютная деформация поковки совсем незначительна — менее 2 мм.*

На рис. 153 (слева) показана форма очага деформации при доштамповке, установленная методом построения сетки линии скольжения (по Л. А. Шофману).

Подобная форма получена также методом макроанализа стальной поковки и воспроизводится при доштамповке предварительно разрезанных поволоков с нанесенной координатной сеткой на плоскость разреза (по Е. И. Семенову). Как видно из рис. 153 (справа), при доштамповке пластическая деформация охватывает далеко не весь объем поковки, но и не ограничивается узкой полоской ΔH_4 , как это было показано на рис. 151, 4, где дан лишь объем металла, который смещается при доштамповке.

Впервые это положение было высказано М. В. Сторожевым и затем подтверждено С. И. Губкиным с помощью оптического анализа и методом координатных сеток.

Л. А. Шофман исследовал теоретические границы распространения пластических зон на различных стадиях штамповки в открытых штампах и получил эти зоны по очертанию близкими к обнаруживаемым по макрошрифту и искажению координатной сетки. Контур пластической зоны образован с каждой стороны полости двумя семействами ортогональных линий, которые вначале (вблизи входа в канавку) являются прямыми, постепенно приближаю-

* Некоторые исследователи (например Л. А. Шофман) рассматривают вторую и третью стадии как общую стадию, тогда весь процесс заполнения ручья состоит из трех стадий, причем последняя, третья, стадия называется стадией доштамповки. Иногда процесс штамповки разделяют на два периода: к первому периоду относятся первая — третья стадии и ко второму четвертая стадия.

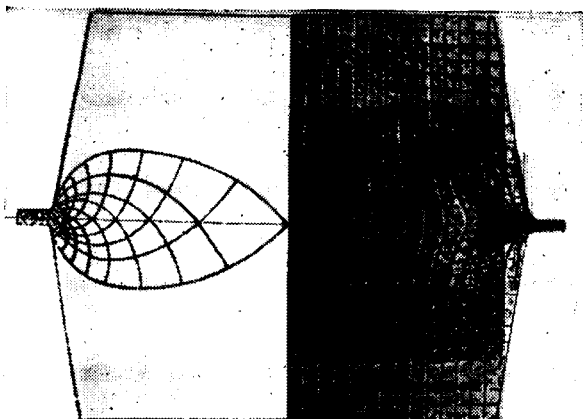


Рис. 153. Форма очага деформации на четвертой стадии штамповки

щимися к форме дуг циклоид. В соответствии с гипотезой деформации жесткопластического тела за пределами пластических зон расположены жесткие зоны, между ними и стенками полости металл не перемещается, следовательно, отсутствуют и силы трения скольжения (см. рис. 151, 4). Контактные силы трения на четвертой стадии штамповки возможны лишь в области канавки.

Экспериментальный очаг деформации на четвертой стадии штамповки (рис. 153, справа) имеет двояковыпуклую форму, однако область наибольшего искривления линий вписывается в контур теоретического очага деформаций. Е. И. Семенов уточнил форму и размеры очага деформации для круглых в плане поковок. Эта форма соответствует кольцевой периферийной части, равной по толщине и ширине высоте заусенца h_3 в конце штамповки, и линзовидной средней части с высотой h_0 , примерно равной $h_0 \approx 3,5h_3$. Экспериментально установлено, что отношение $h_0/h_3 = f(D_{\text{пок}}/h_3)$, где $D_{\text{пок}}$ — наружный диаметр поковки. Указанная величина $h_0/h_3 \approx 3,5$, а по данным М. В. Сторожева до 5, соответствует $D_{\text{пок}}/h_3 = 20$.

Форма очага деформации зависит от величины действующих сил трения на дне и боковой стенке полости. Очаг деформации, как видно из рис. 153, не имеет резко очерченных границ и вследствие взаимосвязи частиц металла распространяется на соседние его слои, однако вдали от очага деформации металл остается на четвертой стадии штамповки практически неподвижным. Для поковок более сложных форм очаг деформации соответственно усложняется.

Штамповка является типичным нестационарным процессом и поэтому изучается применительно к каждому отдельному моменту,

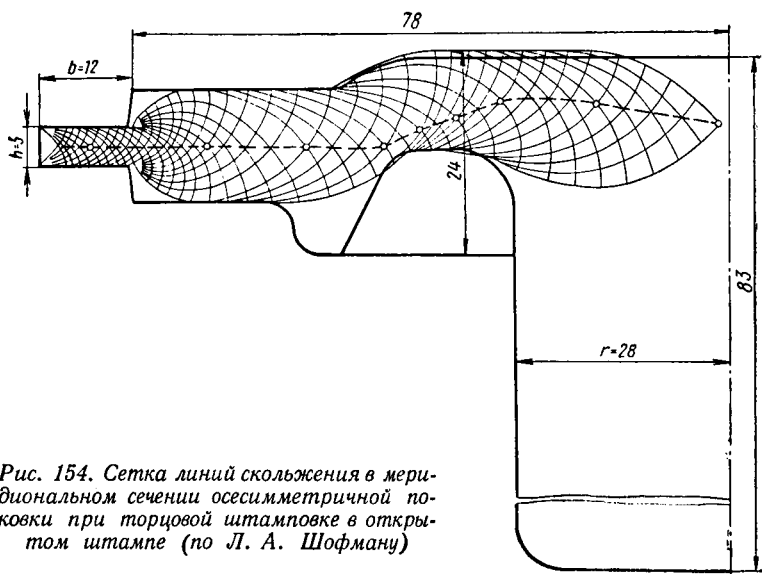


Рис. 154. Сетка линий скольжения в меридиональном сечении осесимметричной поковки при торцовой штамповке в открытом штампе (по Л. А. Шофману)

например началу и концу четвертой стадии. Для поволоков осесимметричных (круглых в плане) и деформируемых по схеме, близкой к плоской (длинноосные поволоки, штампуемые перпендикулярно их оси), наиболее просто использовать теоретические методы анализа. Для этих поволоков очаг деформации характеризуется отношением ширины поковки $B_{\text{пок}}$ к толщине заусенца h по его мостику. А. А. Омелин с помощью построения полей линий скольжения установил, что высота очага деформации при $\frac{B_{\text{пок}}}{h} > 3,5$ примерно равна $0,3B_{\text{пок}}$ и не зависит от ширины заусенца b . При отношении $\frac{B_{\text{пок}}}{H_{\text{к}}} > 2,85$ ($H_{\text{к}}$ — высота поковки или ее элемента) очаг выходит на поверхность полости штампа, что свидетельствует о необходимости учитывать особые граничные условия. При $\frac{B_{\text{пок}}}{h} < 3,5$ качество обработки штампа и смазка его не влияют на деформированное состояние металла. На рис. 154 показано поле линий скольжения в меридиональном сечении осесимметричной поковки сложной формы при $\mu = 0,5$. Штриховая линия соединяет узловые точки сетки, в которых касательные напряжения равны нулю.

Построение полей линий скольжения, как известно, используют для определения эпюр напряжений, а затем и усилий на штамповку; эти построения могут быть использованы и для анализа распределения деформаций (с помощью полей скоростей).

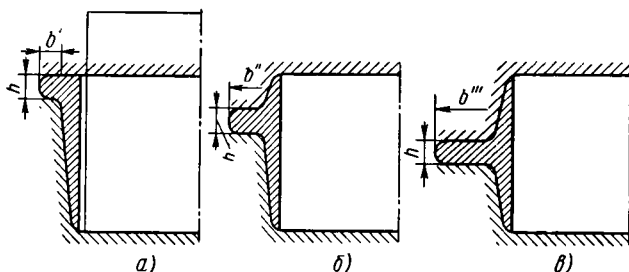


Рис. 155. Схемы, поясняющие зависимость минимального объема заусенца штампа

Штампы необходимо тщательно смазывать, так как это дает возможность уменьшить их уклоны и соответственно напуски на поковках. Смазка необходима и для повышения стойкости штампов. В тех местах полости штампа, где у нее нет контакта с пластическими зонами штампуемого металла, смазка при его деформации бесполезна; смазка порога канавки на третьей стадии даже вредна, так как уменьшает полезное трение, сдерживающее слишком обильный поток металла в заусенец. Однако на четвертой стадии смазка порога канавки была бы полезной, но использовать ее в таких условиях практически невозможно. Несомненно, полезной смазка является в тех местах полости, относительно которых происходит перемещение металла при заполнении ручья, а также в тех, которые удерживают поковку при ее удалении из ручья.

Наиболее выгодные условия штамповки соответствуют наименьшему расходу металла, минимальной затрате работы на деформацию при наиболее низких удельных усилиях течения металла, что наблюдается при минимально возможной продолжительности четвертой стадии штамповки. Оптимальные условия штамповки должны обеспечить высокие производительность, качество продукции и стойкость штампов. Штамповку с минимально развитой четвертой стадией осуществляют правильным расчетом профиля фасонной заготовки, точной дозировкой ее объема и установлением оптимальных размеров канавки (h и b) путем корректирования их в процессе пробных штамповок.

Теоретические методы исследования потоков металла в штампах, разработанные в последнее время, значительно упрощают расчет наиболее выгодного технологического процесса штамповки.

Минимальный расход металла в заусенец определяют в связи с основным его назначением — тормозить вытекание металла за пределы ручья штампа до начала четвертой стадии штамповки.

Минимально необходимый заусенец определяют в зависимости от формы фасонной заготовки, положения плоскости разреза штампа и размеров порога канавки. Объем минимального заусенца

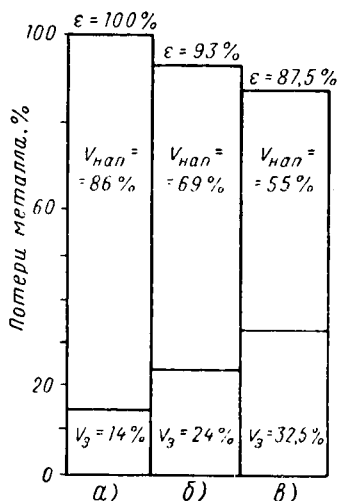


Рис. 156. Сопоставление потерь металла на заусенцы и с напусками по схемам на рис. 155 (в — суммарные потери металла)

для данной поковки неодинаков и зависит от конструктивного оформления штампа (рис. 155). Меньший его объем относится к случаю тонкого h и узкого b' заусенца, расположенного у торца поковки в том месте, где течение металла наиболее затруднено (рис. 155, а). Однако исходя из условий уменьшения потерь металла с напусками и удобств обрезки заусенца получила распространение штамповка с разъемом посредине поковки; в этом случае наблюдается увеличенный объем минимального

заусенца, характеризуемый размерами h и b'' (рис. 155, в). Промежуточная величина минимального заусенца относится к штампу с разъемом согласно рис. 155, б; при этом $b' < b'' < b'''$.

На рис. 156 приведены результаты количественного сопоставления потерь металла в заусенец V_z и от напусков $V_{нап}$ вследствие штамповых уклонов. Данные относятся к круглой поковке, штампуемой из заготовки $H_0 = D_0 = 100$ мм при 30%-ной высотной деформации, угле уклона $\alpha = 7^\circ$ и при расположении плоскости разреза по торцу поковки (а) на $1/4$ (б) и $1/4$ ее высоты (в). Общие потери на минимальный заусенец и от напусков, принятые для схемы на рис. 156, а за 100%, составляют для схемы на рис. 156, б — 93% и для схемы на рис. 156, в — 87,5%. Потери металла от напусков при этом уменьшаются и составляют соответственно 86; 69 и 55%, а потери на минимальный для каждой схемы заусенец возрастают соответственно в последовательности 14; 24 и 32,5% от общих потерь металла.

Фактический объем заусенца значительно больше минимально необходимого и определяется исходя из следующих условий.

1. Колебания объемов исходных заготовок вследствие допусков на прокатку и резку приводят к увеличению объема заусенца на величину V_1 . Например, для цилиндрических заготовок эти колебания составляют

$$V_1 = \frac{\pi}{4} (D_{\max}^2 L_{\max} - D_{\min}^2 L_{\min}), \quad (67)$$

где D и L — соответствуют наибольшим и наименьшим размерам заготовок с учетом допусков на прокатку (по D_0) и резку (по L_0).

При расчете заготовок из проката нормальной точности, например диаметром 60 ± 1 ; $90 \pm 1,5$ и $120 \pm 2,0$ мм, и в случае

изменения $D_0 : L_0$ в пределах 1—2 величина V_1 достигает 6—9% от объема заготовок. В среднем на каждую заготовку эти потери металла составят 3—4,5%, что больше потерь металла на окалину. С уменьшением объема заготовок относительная величина колебания их объема увеличивается. С увеличением длины при одновременном уменьшении диаметра заготовки колебания фактического объема вследствие допусков на прокатку и резку также возрастают. Так, например, заготовка диаметром $120 \pm 2,0$ мм и длиной $120 \pm 2,0$ мм имеет средние отклонения по объему около 3%, тогда как равновеликая по объему заготовка диаметром $90 \pm 1,5$ мм и длиной $205 \pm 3,0$ мм имеет средние отклонения по объему 4,5%. На рис. 308 показаны колебания объемов мерных заготовок в зависимости от соотношения их размеров. Величина угара металла колеблется в небольших пределах и приводит к неодинаковому уменьшению объема поступающей в штамп заготовки.

2. Увеличение объема заусенца против минимально необходимого объясняется также неравномерностью его образования. Это может быть вызвано следующим: а) несоответствием профилей заготовки и поковки в плоскости разбема штампа, приводящим к неодинаковому поступлению металла в канавку в разных ее частях по периметру, например при штамповке круглых в плане поковок из квадратных заготовок. Этот вид неравномерности заусенца отсутствует при штамповке в торец поковок типа тел вращения, если цилиндрическую заготовку устанавливают точно в середине ручья; б) при штамповке длинноосных поковок сложной формы заготовка получает в разных частях полости штампа неодинаковую степень деформации по высоте, что обуславливает различные поперечные деформации и, как следствие, неодинаковый заусенец по периметру; в) неравномерным заусенцем, образующимся вследствие неравномерного распределения температуры по длине заготовки; г) неправильной (неточной) установкой круглой заготовки в ручей, приводящей к неравномерному заусенцу при штамповке в торец даже таких простых по форме поковок, как ступицы, фланцы и др.

При неравномерном заусенце размеры минимально необходимого заусенца будут только на отдельных участках периметра, а на остальной его части эти размеры получают большей величины. Общий объем заусенца при этом возрастает на величину V_2 , которая колеблется от нескольких процентов для простых форм и до десятков процентов (от объема поковки) для сложных форм поковок. В качестве объема V_2 не может быть использован объем V_1 , так как достаточный для этого избыточный объем V_1 имеется не у всех заготовок данной партии.

3. В процессе штамповки полость штампа изнашивается, что приводит к увеличению объема поковок (в пределах допусков). Так как при разделке прутков на заготовки нельзя учесть степень износа штампа к моменту штамповки каждой заготовки, то в объеме всех заготовок содержится дополнительное количество металла V_3 .

компенсирующее наибольший износ штампа. Этот дополнительный объем также не может быть заменен избыточным объемом заготовки V_1 , так как у многих заготовок $V_1 < V_3$, а у некоторых $V_1 = 0$. В среднем величина V_3 составляет 3—5% от объема заготовки.

4. На практике вследствие несовершенной технологии заполнение полости штампа происходит несколько раньше, чем штампы сходятся между собой. При этом на последней стадии штамповки в заусенец вытесняется некоторый объем металла V_4 . При расчете объема заусенца объем V_4 не предусматривается в качестве дополнительного, так как он может быть заменен уже имеющимся в заготовке избыточным металлом. Когда штамп изношен, объем V_3 остается в поковке, и если $V_1 > 0$, то $V_4 \leq V_1$, так что на последней стадии штамповки в заусенец поступает металл за счет его избытка в заготовке из-за неточности ее размеров. Если штамп выполнен с допусками по нижнему пределу и не изношен, то объем V_3 частично или полностью вытесняется в заусенец. В этом случае, если $V_1 > 0$, то $V_4 \leq (V_1 + V_3)$. Если же объем V_4 не вытесняется полностью в канавку, то имеет место недоштамповка поковки по высоте, наличие которой, как и других допусков (на смещение штампов, перекося их и т. д.), обычно не вызывает увеличения объема заготовки, но приводит к увеличению объема поковки и соответственно механической обработки. Если объем V_4 очень большой, то для доштамповки поковки требуется затратить много энергии вследствие увеличения числа ударов молота или значительного повышения усилия при штамповке на прессе. При этом износ порогов канавок значительно ускоряется.

5. Увеличение объема заусенца против минимально необходимого происходит также в тех случаях, когда он образуется в процессе штамповки раньше, чем это предусмотрено в соответствии с основным его назначением. Металл, попадающий преждевременно в магазин, пропадает. Кроме того, этот металл, имеющий объем V_5 , создает повышенное сопротивление нормально вытекающему в канавку металлу и приводит к увеличению расхода энергии на штамповку. Чем ближе форма заготовки к форме поковки, тем при меньшей деформации заполняется ручей, тем ближе к концу процесса штамповки образуется заусенец и тем менее вероятно преждевременное его появление. При тщательном фасонировании заготовки заусенец преждевременно не образуется ($V_5 = 0$) и соответствующий объем его в заготовке не предусматривается. Если форма заготовки, поступающей в окончательный ручей штампа, значительно отличается от формы поковки, то объем V_5 приходится предусматривать в объеме заготовки, так как другим объемом он не может быть компенсирован.

В общем случае фактический объем заусенца

$$V_{\phi} = V_{\min} + V_1 + V_2 + V_3 + V_5. \quad (68)$$

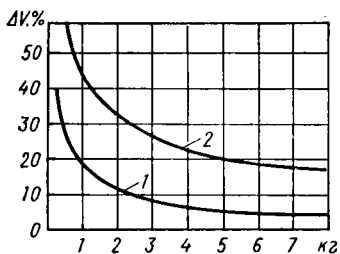


Рис. 157. Потери металла на заусенцы в зависимости от массы поковки простой (1) и сложной (2) форм

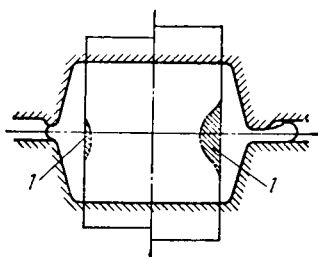


Рис. 158. Штамповка с минимальным (левая часть) и увеличенным (правая часть) объемами заусенцев:

1 — объем металла, поступающий в заусенечную канавку; заготовка показана тонкой линией

Тщательно отработанный технологический процесс штамповки

может быть практически осуществлен при $V_2=0$ и $V_5=0$; тогда

$$V_{\phi} = V_{\min} + V_1 + V_3. \quad (68')$$

На практике величина заусенца иногда составляет десятки процентов от массы поковки вместо нескольких процентов, достаточных для образования минимально необходимого заусенца.

При пробной штамповке заготовок разного объема и с различным соотношением размеров можно установить достаточен ли объем заусенца. При малом объеме заготовок определенный объем металла вытекает в канавку для заусенца, в то время как полость ручья оказывается незаполненной. При слишком большом объеме заготовок приходится вытеснять в канавку (кроме необходимого) большое количество избыточного металла, после того как полость ручья уже целиком заполнена (объем V_4). В общем случае объем заусенца можно разделить на две части: полезную (объем $V_{\min}$) и бесполезную или даже вредную ($V_{\phi} - V_{\min}$).

Рассмотрение стадий штамповки и условий превышения объема фактических заусенцев по сравнению с их минимально необходимым объемом имеет не только познавательный интерес. Соответствующим анализом возможно установить источники экономии металла и рационализации штамповки в открытых штампах. Как следует из рис. 157, чем меньше масса поковки, тем больше доля объема заготовки ΔV , расходуемая на заусенец, причем она относительно увеличивается для поволок сложных форм, штампуемых чаще перпендикулярно оси заготовки (кривая 2), по сравнению с поволоками простой формы, штампуемых обычно в торец (кривая 1).

Идеализированная схема штамповки в открытых штампах отличается от реальной отсутствием четвертой бесполезной стадии штамповки (доштамповки) и образованием минимального заусенца в пределах порога заусенечной канавки (рис. 158, левая часть).

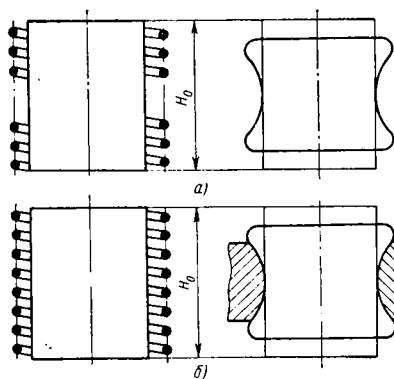


Рис. 159. Способы фасонирования заготовок при торцевой штамповке:

а — осадка заготовки менее нагретой в средней части по высоте; *б* — осадка заготовки в ограничительном разъемном кольце

При этом штамповка сопровождается: осадкой (обжатием) заготовки до ее соприкосновения с боковыми стенками полости, дальнейшей деформацией заготовки при ее подпоре боковыми стенками полости без образования заусенца и, наконец, деформацией затекания металла в углы полости при одновременном образовании заусенца, высота которого уменьшается, а ширина увеличивается в пределах размеров порога канавки к концу процесса штамповки.

В реальном процессе по ряду причин (низкая точность объема заготовки, недостаточная предварительная фасонировка заготовки, большой допустимый износ ручья и т. д.) штампуют с увеличенным заусенцем (рис. 158, правая часть) и с доштамповкой (в четвертой стадии). Однако, чем меньше стадия доштамповки, тем совершеннее процесс и тем лучше он отработан. Обычно стадия доштамповки не превышает нескольких миллиметров.

Экспериментально установленное соотношение протяженности отдельных стадий при штамповке поковки шестерни (в торец круглой заготовки) соответствует 18; 47; 32; 3%, причем за 100% принята общая высотная деформация заготовки $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 = H_{\text{заг}} - H_{\text{пок}}$.

Для приближения реального процесса к идеализированному имеются три следующих возможности: обеспечение высокой точности расчетного объема заготовки; высокая степень рациональной фасонировки заготовки; максимально отдаленный момент начала образования заусенца. Последнее требование в условиях предварительной фасонировки заготовки сводится к возможно большему укорочению стадии образования заусенца (ΔH_3). Это достигается при данной общей протяженности обжатия заготовки за счет большей протяженности первой и второй стадий штамповки. Чем позже металл начинает вытекать в канавку, тем она уже и тем больше тормозящее действие заусенца, что необходимо для обеспечения заполнения металлом углов полости штампа. Задержать начало третьей стадии штамповки можно несколькими способами. При торцевой штамповке поковок типа тел вращения это можно сделать, например, используя неравномерность температурного поля в продольном сечении заготовки в процессе ее нагрева перед штамповкой (рис. 159, *а*). В средней части индуктора шаг спирали больше, что приводит к меньшему разогреву средней

части заготовки и при последующем обжатии — к вогнутой боковой поверхности заготовки. Аналогичный эффект можно получить при осадке с механическим ограничением деформации в средней части заготовки (рис. 159, б). Такое ограничение возможно, например, при использовании приспособления для переноса заготовки из ручья в ручей. Подобная заготовка может быть получена также в виде проката периодического профиля. Условия образования заусенца при различной протяженности третьей стадии штамповки (рис. 160) неодинаковы для предварительно осаженной бочкообразной заготовки (а), более низкой круглой исходной заготовки, штампуемой без предварительной осадки (б), и заготовки с вогнутой образующей боковой поверхности (в). Как показано на рис. 160, объем заусенца уменьшается последовательно от первой до последней схемы штамповки пропорционально развитию второй и сокращению третьей стадий штамповки.

На рис. 161 показана более совершенная фасонировка, которая еще больше сокращает протяженность третьей стадии штамповки за счет предварительного набора металла в осевые выступы поковки (рис. 161, а). Эффективность вогнутости боковой поверхности при фасонировке заготовки не уменьшается при расположении плоскости разреза штампа не посередине высоты поковки (рис. 161, б). Описанная фасонировка заготовок сопровождается повышенной проработкой металла заготовки в области вогнутости профиля, что соответственно повышает в этом объеме механические свойства металла. С подобной целью вогнутость при фасонировке может быть расположена и в торцевой области заготовки (рис. 161, в).

Таким образом, требование к рациональному фасонированию заготовок не всегда состоит в возможно большем приближении формы заготовки к форме поковки.

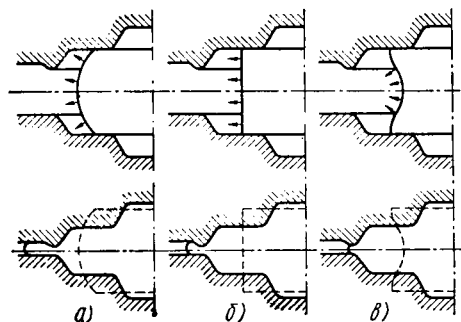


Рис. 160. Штамповка с разной протяженностью третьей стадии процесса за счет использования заготовок различных форм

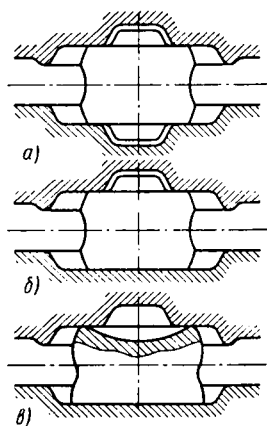


Рис. 161. Рациональные формы заготовок, предварительно подготовленных для штамповки с уменьшенным заусенцем

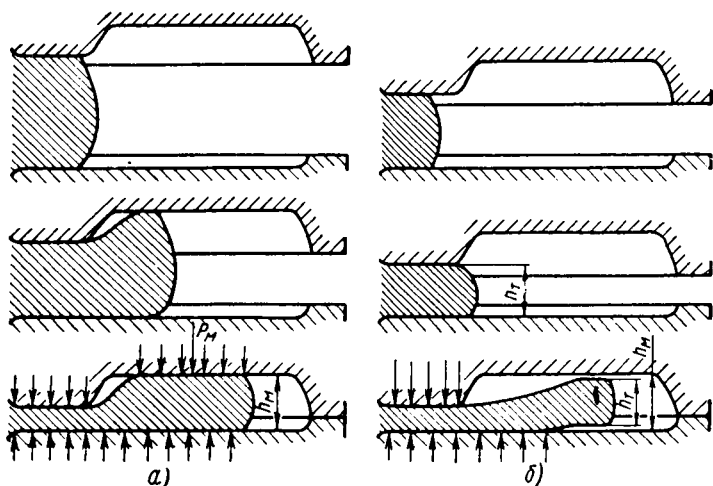


Рис. 162. Образование заусенца:

а — с обжатием в магазине; б — без обжатия в магазине канавки

На рис. 162 для иллюстрации эффекта, получаемого от своевременного образования заусенца, приведены две схемы. При нерациональном фасонировании металл вытекает в заусенец преждевременно (рис. 162, а), что увеличивает его объем (десятки процентов от объема поковки). В этом случае часть заусенца, попадающая в магазин, обжимается (сила P_m), что приводит к увеличению работы деформации. При рациональном фасонировании (рис. 162, б) заусенец появляется ближе к концу штамповки, при этом его объем не превышает 5—10% от объема поковки. Тщательным фасонированием можно добиться еще меньшего объема заусенца (малозаусенечная штамповка). При нормальной схеме образования заусенца в момент поступления металла в магазин толщина его должна быть равна или меньше высоты магазина в сомкнутом положении штампа, т. е. $h_t \leq h_m$.

Дальнейшее перемещение заусенца в магазине сопровождается увеличением его наружного периметра и уменьшением его толщины; поэтому при $h_t = h_m$ заусенец не обжимается горизонтальными плоскостями магазина. Высоту магазина следует принимать наибольшей исходя из стойкости кромки порога канавки. Использование обжатия заусенца в магазине для увеличения тормозящего действия заусенца нерационально. С этой целью уменьшают толщину заусенца или увеличивают ширину порога канавки, что не связано с увеличением объема заусенца. Вследствие того, что внешняя сила, деформирующая заусенец в перемычке, действует на меньшую площадь, чем реакция этой силы со стороны нижнего штампа (рис. 162, б), заусенец в процессе штамповки искривляется.

Перечислим возможности экономии металла на заусенцы. Средние потери металла на заусенец составляют, например, в автотракторной промышленности 16—18% от массы металла, используемого на поковки. По всей промышленности СССР отходы в заусенцы составляют сотни тысяч тонн металла. Несколько процентов от всей штампуемой стали можно сэкономить, если сократить избыток металла V_1 в заготовке за счет повышения точности ее объема.

Для этого необходимо применять способы безотходной и точной разделки прутков на заготовки с учетом допусков при прокатке (см. параграф 2 гл. II). Разделка заготовок на установке с ограничителем, действующим от вычислителя объема, обеспечивает получение достаточно точных по объему заготовок из проката обычной точности. Такую разделку прутков, как правило, рекомендуют при точной штамповке. Однако точная дозировка металла не менее эффективна и при штамповке обычной точности.

Сокращения объема металла на заусенцы можно добиться уменьшением объема металла V_3 , компенсирующего износ штампов. Для этого объем, характеризующий износ штампа, делится на несколько частей, соответственно которым применяют заготовки с различной величиной избытка металла — вначале небольшой, а затем все возрастающей. Экономии металла можно получить уменьшением избытка металла V_2 , вызываемого неравномерностью образования заусенца, за счет использования канавок с переменной шириной порога b и лучшего фасонирования заготовок. В процессе штамповки нельзя уменьшать объем заусенца, так как это приводит к утяжелению поковок и к увеличению объема их механической обработки. Всякое уменьшение объема заусенца должно сопровождаться уменьшением объема заготовки, только в этом случае можно получить экономию металла.

3. Штамповка в закрытых штампах

Этот процесс, осуществляемый на горизонтально-ковочных машинах, прессах и молотах, иногда называют безоблойной штамповкой¹.

Сущность процесса (рис. 163) состоит в том, что заготовка с размерами H_0 и D_0 деформируется, находясь в полости одной части штампа, в которую входит, как в направляющую, другая его часть (рис. 163, а, б). При этом штамп не обеспечивает свободного удаления цилиндрической поковки с размерами H_k и D_k из ручья. Во избежание указанного применяют штамповочные уклоны или извлекают поковки следующими двумя способами. Для удаления поковки из полости применяют выталкиватель (рис. 163, в). В части 1 штампа установлен стержень 3, выталкивающий поковку

¹ Термин «облой» происходит от старинного русского слова обло, которое вначале обозначало выпуклый след на литых деталях, по месту стыка частей форм, а позднее — заусенец при штамповке.

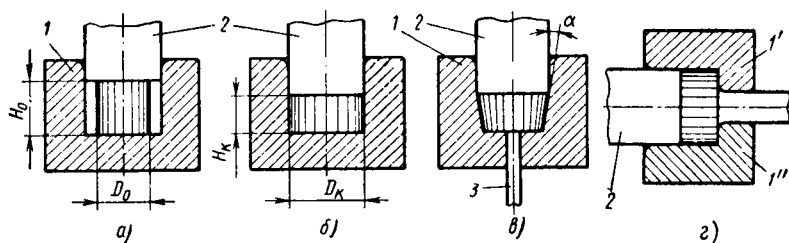


Рис. 163. Схемы штамповки в закрытых штампах

после отхода части 2 штампа (при обратном ходе машины). Для уменьшения усилия выталкивания применяют штамповочные уклоны α относительно небольших размеров. По такой схеме выполняют штампы, работающие на прессах. В другом случае (рис. 163, г) часть штампа, в которой расположена полость, выполнена разъемной, состоящей из двух половин 1' и 1''; штамп состоит из трех частей и имеет разъем в двух плоскостях, штамповочные уклоны при этом не нужны. По такой схеме выполняют штампы горизонтально-ковочных машин, в которых деформация металла происходит обычно на конце прутка. В последнее время штампы с разъемной матрицей без уклонов применяют и на прессах при штамповке мерных заготовок.

Практически некоторая часть металла затекает в зазоры между разъемными частями 1 и 2 закрытого штампа, образуя незначительный заусенец, объем которого зависит от колебаний объема заготовок вследствие неточности их изготовления. Штамповка в закрытом штампе характеризуется следующими признаками.

1. Колебания объема заготовок должны быть незначительными. При штамповке заусенец не предусматривается, поэтому объем металла в полости практически не изменяется: $V = \text{const}$.

2. Заусенец, часто образующийся вследствие затекания металла в зазор по месту разреза штампа, незначителен, толщина его не изменяется в процессе штамповки, а направление вытекания совпадает с направлением движения штампа.

3. Макроструктура поковок характеризуется тем, что волокна металла получают очертания контура поковки и не перерезаны.

Каждый из описываемых способов штамповки имеет преимущества и недостатки, однако штамповка в закрытых штампах более рациональна, так как при ней возможен только непредусматриваемый и небольшой величины заусенец (0,5—1%), качество поковок более высокое, чем из закрытых штампов.

Особенно эффективна схема штамповки в закрытых штампах малопластичных сплавов. Значительный боковой подпор стенок полости повышает гидростатическое давление (среднее напряжение шарового тензора $\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}$), в результате чего пла-

стичность металла возрастает. Существенное преимущество закрытых штампов состоит в меньшей их требовательности к фасонированию заготовок, однако как и в открытых штампах должно быть обеспечено центрирование заготовок. Основное требование к штамповке в закрытых штампах сводится к точности объема заготовок. Меньший объем заготовок, чем требующийся, приводит к незаполнению углов штампов и браку поковок. Большой объем заготовки из-за отсутствия возможности фиксировать момент заполнения полости (конец штамповки) приводит к распору штампа, что отрицательно сказывается на его долговечности. Штампы при использовании чрезмерно больших заготовок разрушаются не будучи изношенными. Повышение точности заготовок направлено на увеличение выхода годного, что желательно для штампов всех типов, а не только закрытых.

Основной недостаток способа штамповки в закрытых штампах состоит в его неуниверсальности и ограниченности рациональных форм штампуемых поковок (рис. 164). Для сравнения приведены продольные сечения открытых и соответствующих закрытых штампов, из которого видно, что, например, круглый контур поковки неприемлем из-за малого угла β и низкой стойкости кромки штампа κ : лучше, если $\beta \geq 90^\circ$, что далеко не всегда возможно. Именно это обстоятельство является решающим и объясняет, почему штамповка в открытых штампах более распространена (на долю закрытых штампов приходится менее 10% штампуемых поковок).

Однако штамповку в закрытых штампах непрерывно совершенствуют и постепенно расширяют ее применение. Усовершенствования этой технологии рассмотрены в следующем параграфе.

Во избежание перегрузки штампов и оборудования при попадании в штампы заготовок, объем которых превышает некоторый

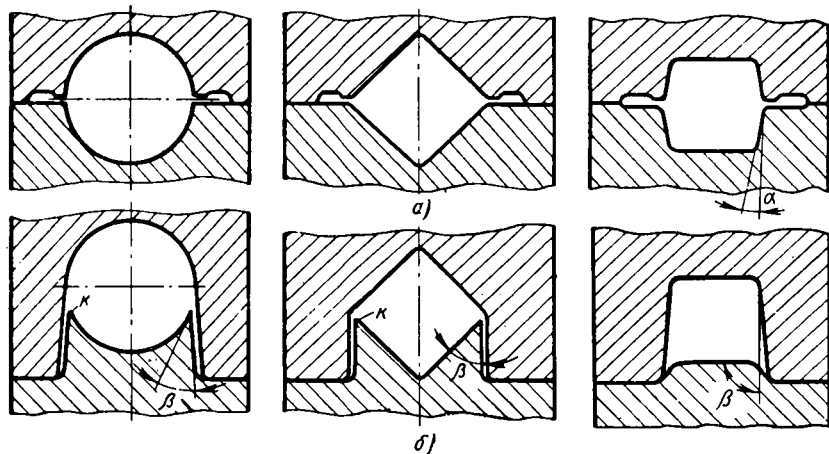


Рис. 164. Сечения открытых (а) и соответствующих закрытых (б) штампов:
 α — штамповый уклон; β — угол рабочей кромки внутренней части штампа

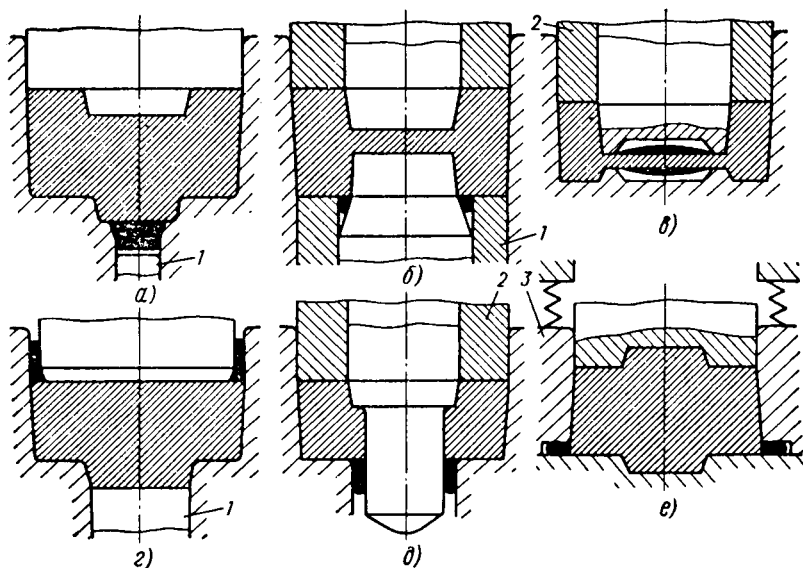


Рис. 165. Схема закрытых штампов с компенсаторами:

1 — нижний и 2 — верхний выталкиватели; 3 — фиксирующая обойма; металл, поступающий в компенсатор, зачернен

предельный, М. В. Сторожев предложил удалять излишки металла в специальный приемник, названный компенсатором. Принцип устройства компенсатора состоит в том, что для каждой конфигурации поковок и соответствующего оформления штампа устанавливают место наиболее трудного заполнения металлом и в нем предусматривают отверстие или щель, в которые выдавливается лишний металл после оформления поковки. На рис. 165 представлены разновидности применяемых компенсаторов, достоинство которых состоит в простоте последующего удаления излишка металла, поступившего в компенсатор. Лучше всего, если оно осуществляется отрезкой в процессе штамповки, и хуже, если это требует механической обработки на станках. Торцовые компенсаторы (рис. 165, а) в виде конического приемника, а также с кольцевым приемником (рис. 165, б) просты в исполнении и распространены больше других.

Внутренний компенсатор (рис. 165, в) применяют для поковок кольцевого типа и размещают в области перемычки (пленки) в виде кармана увеличенного объема. Компенсатор по схеме рис. 165, г, который оформляют в виде кольцевой щели между пуансоном и матрицей, должен быть тонким, так как расположен не в самом труднодоступном для металла месте. Объем компенсируемого металла здесь не велик. Более емкий компенсатор кольцевого типа (рис. 165, д), расположенный между пуансоном сквозного типа и

матрицей в нижней части полости. Оригинальная конструкция штампа (рис. 165, *з*) позволяет применить компенсатор в виде наружной кольцевой щели по типу заусенечной канавки, но в отличие от нее компенсатор имеет постоянную высоту щели за счет того, что фиксирующая обойма штампа, образующая приемник для металла с начала и до конца штамповки, находится в нижнем положении.

А. З. Журавлев, подробно исследуя условия заполнения углов закрытых штампов, ввел их подразделение на пассивные, которые расположены в глухой части полости, и активные, расположенные во входной части полости, между неподвижными и подвижными частями штампов. В пассивные углы металл поступает, преодолевая силы трения о боковую стенку, что требует больших удельных сил, чем при заполнении активных углов. Типичное расположение компенсатора в глухой части полости дано на рис. 165, *а, б, в*. На рис. 165, *г* компенсатор расположен в активной части полости, поэтому должен быть узким с тем, чтобы затруднить вытекание избыточного металла и обеспечить заполнение всех углов полости. Таким образом, в отдельных случаях компенсатор выполняет те же функции, что и заусенечная канавка, т. е. тормозит выход металла из полости, но в то же время размещает излишки металла, не давая перегружаться штампу и оборудованию. В то же время штамп остается закрытым, причем размеры щели приемника металла в процессе штамповки не изменяются.

4. Штамповка выдавливанием

Процесс осуществляют на прессах, горизонтально-ковочных машинах и даже молотах (ударное выдавливание). Сущность процесса состоит в том, что заготовку устанавливают в полости штампа, выполненного конструктивно в виде закрытого, но так как в ней имеется выходное отверстие, то часть металла выдавливается через него за пределы основной полости. Отходов здесь не предусматривается. Исключение составляет та часть объема заготовки, которая является избыточной вследствие неточности прокатки и разделки пруткового металла на мерные заготовки. В закрытом штампе тоже могут быть полости для выдавливания отдельных элементов поковки, но они глухие, а у штампа для выдавливания соответствующие полости сквозные, с выходным отверстием. Поковка, полученная в этом штампе, состоит из корпуса, находящегося в основной части полости к концу процесса, и стержневой части, выдавленной через отверстие в полости штампа. Обычно стержневая часть поковки имеет постоянное поперечное сечение, но известны технологические процессы и соответствующие им штампы, которые обеспечивают переменный (конический или ступенчатый) профиль стержневой части выдавленной поковки.

Инструмент для выдавливания поволоков схож с инструментом для прессования прутков, однако соответствующие процессы зна-

чительно отличаются друг от друга. Если процессы выдавливания поковок и прессования профилей подразделить на два этапа: заполнение полости инструмента и образование стержня, то для процесса выдавливания значение второго этапа (по величине хода пресса и деформации металла) относительно невелико, так как стержневая часть поковки обычно меньше ее корпуса. Процесс в этом случае не стационарен, а если и появляется установившаяся стадия (например, при выдавливании клапанов), то она невелика. Напротив, основная часть процесса прессования профилей (90% и более) состоит из установившейся стадии истечения металла через очко матрицы, причем только вытекший из полости инструмента металл является изделием, а оставшийся в полости — отходом (пресс-остаток). Инструмент для выдавливания более сложен, чем для прессования, так как форма поковок разнообразна, а прессованные прутки различных форм (профили, трубы) получают в основном из цилиндрической полости инструмента.

Главное преимущество процесса выдавливания перед штамповкой в открытых штампах состоит в возможности получения поковок с очень точными размерами и весьма качественной поверхностью. Большим или меньшим выдавливанием металла в стержневую часть поковки можно фиксировать объем корпуса поковки, не боясь перегрузки штампа (как при штамповке заготовок с завышенным объемом в закрытом штампе).

К основным недостаткам штамповки выдавливанием относятся высокие удельные усилия, большие энергозатраты на осуществление процесса, а также относительно низкая стойкость инструмента (особенно на участке выходного отверстия).

Штамповка выдавливанием характеризуется следующими общими признаками:

1) объем металла в основной полости инструмента в процессе штамповки уменьшается ($V \neq \text{const}$), так как предусматривается выдавливание некоторой части объема заготовки для образования стержневой части поковки;

2) не предусматривается отход металла, но при наличии избыточного металла в заготовке (вследствие неточности дозировки) он может быть вытеснен в виде сосредоточенного объема в стержневую часть поковки и затем легко удален отрезкой в штампе или механической обработкой;

3) поковки, полученные выдавливанием, отличаются высоким качеством, отсутствием внутренних трещин, пустот и других дефектов, устраняемых в процессе деформирования в условиях трехосного сжатия при высоком среднем напряжении ($\sigma_{\text{ср}}$).

Каждый тип штампа характеризуется направлением контактных сил трения в процессе заполнения металлом полости. Рис. 166 соответствует моменту, близкому к окончанию заполнения полости, применительно к трем основным типам штампов. Стрелками показаны направления контактных сил трения, которые противоположны направлению скольжения металла по поверхности по-

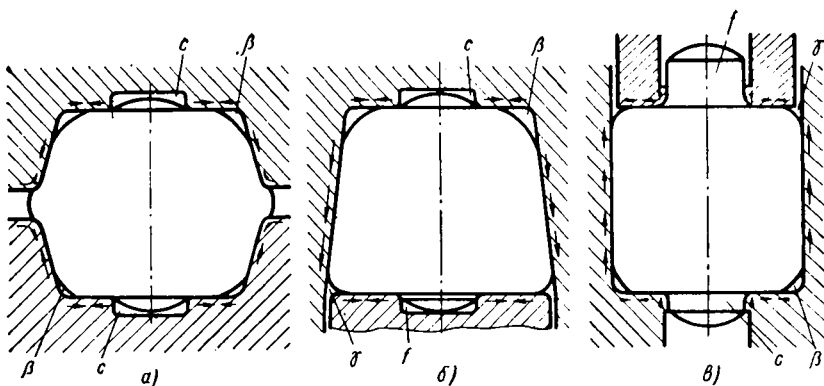


Рис. 166. Сопоставление контактных условий в момент заполнения углов полости трех типов штампов

RUBIE
STAMPERS

Don't wipe this blade

Штампы подразделяют в зависимости от способов инструмента, в глухой полости или относительно друг друга. Полость 166, а) образована двумя глухими полу-Силы трения препятствуют заполнению деформации практически одинаковы. 166, б) верхняя часть полости (глухая) с углом β находится в худших условиях в смысле его заполнения, чем нижняя часть с углом γ , образованной между движущимися относительно друг друга стенками полости. Удельное усилие, приходящееся на дно глухой полости, меньше, чем на противоположную торцовую поверхность, в сторону которой на боковой поверхности полости направлены силы трения.

В связи с этим заполнение углов β происходит позже, чем углов γ . По этой же причине металл затекает в центральное отверстие $с$ в дне глухой полости медленнее, чем в противоположное отверстие в полости штампа.

Заполнение полости штампа для выдавливания (рис. 166, в) характеризуется теми же контактными условиями, что и при заполнении закрытого штампа. Металл относительно легко заполняет угол γ полости, образуемый подвижной и неподвижной ее стенками, причем через отверстие f металла вытекает больше, чем через противоположное отверстие $с$ со стороны угла β глухой полости.

Для выдавливания поковок небольшой длины, при котором необходима машина с силовой характеристикой в виде кривой, плавно возрастающей до максимума в конце хода, может быть применен любой тип пресса (гидравлический, кривошипный, винтовой фрикционный). Наиболее удобными в эксплуатации для выдавливания являются вертикальные гидравлические прессы, ко-

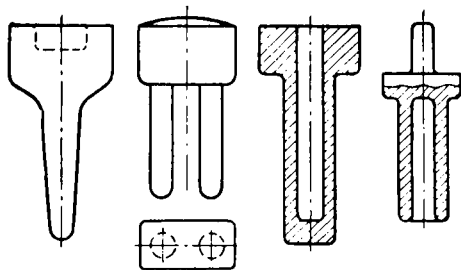


Рис. 167. Поковки, получаемые выдавливанием

которые усовершенствованы, компактны и имеют достаточно высокие, свободно регулируемые скорости хода.

Кривошипные и винтовые фрикционные прессы целесообразно применять для выдавливания потому, что к концу процесса скорость хода машины постепенно уменьшается и сопротивление деформированию металла не возрастает до слишком больших величин.

Штамповкой выдавливанием можно изготавливать поковки с относительно короткими отростками, при этом соседние поперечные сечения поковок значительно отличаются друг от друга (рис. 167).

Выдавливают поковки с одним или несколькими отростками, сплошные или полые, а также с боковыми отростками (типа крестовин, тройников и т. п.), в этом случае необходимы штампы с двумя плоскостями разреза. Выдавливанием также фасонируют заготовки для последующей штамповки.

В штампе для выдавливания различают основную полость, в которой расположен металл до начала процесса, и полость выдавливания, или стержневую полость, в которую металл поступает при оформлении поковки.

Процесс выдавливания можно подразделить на три стадии: осадка до момента соприкосновения бочкообразной заготовки с боковыми стенками основной полости; заполнение основной полости металлом; выдавливание металла в стержневую полость. Первые две — нестационарные стадии, последняя — стационарная. Однако эти стадии не имеют резко очерченных границ и частично перекрывают друг друга.

Образование стержневой части поковки происходит на всех трех стадиях процесса. На первой стадии выдавливание металла в стержневую часть незначительно и тем меньше, чем больше высота заготовки H_0 и соотношение $\frac{D_0}{d}$ (D_0 — диаметр заготовки, d — диаметр стержневого отверстия). На второй стадии выдавливание в стержневую часть возрастает. В некоторых случаях металлу легче вытечь в стержневую полость, чем воспроизвести рельеф основной полости для корпуса поковки. Тогда применяют противодавление, сдерживая выдавливаемый металл (см. рис. 178), или стержневую полость оформляют глухой, т. е. с дном. Однако чаще встречаются случаи, когда большая часть стержня образуется при уже заполненной основной полости. Это характерно для поковок со сложными формами корпуса или с относительно

большим отношением $\frac{d_n}{d}$ (d_n — действительный или приведенный для корпуса некруглых форм диаметр полости штампа, d — диаметр стержневого отверстия).

На рис. 168 представлены две наиболее распространенные схемы выдавливания и действующие силы применительно к третьей стационарной стадии процесса выдавливания грибовидной поковки. Инструмент для выдавливания состоит из пуансона *а* и матрицы *б*. Матрица *б* с основной полостью, в которой размещен корпус поковки, имеет входное отверстие для пуансона и стержневое или выходное отверстие для выдавливания металла. Если выходное (стержневое) отверстие расположено в глухой части полости (рис. 168, *I*), то выдавливание называют прямым. Если же отверстие расположено в части полости, образуемой движущимися относительно друг друга стенками (рис. 168, *II*), то выдавливание называют обратным. Схемы действующих сил при прямом и обратном выдавливании неодинаковы. Основное их отличие — силы трения от стенок инструмента. Как видно из рассмотрения рис. 168, схемы выдавливания и усилие для осуществления процессов не зависят от того, какая часть инструмента подвижна и какая неподвижна. В общем случае могут перемещаться и обе части инструмента. Имеет значение лишь местоположение выходного отверстия (в глухой или противоположной частях основной полости). В зависимости от подвижности той или иной части инструмента изменяется только наименование сил 1 и 3, одни из них являются внешними силами, а другие их реакциями. Боковые силы 2 являются реактивными от внутреннего давления сжатого металла на стенки матрицы. При движении стержня поковки относительно боковой поверхности полости выдавливания возникают силы трения 4, направленные против движения стержня. Силы трения 5 возникают вследствие перемещения металла по направлению к выходному отверстию, силы трения 6 — от перемещения заготовки

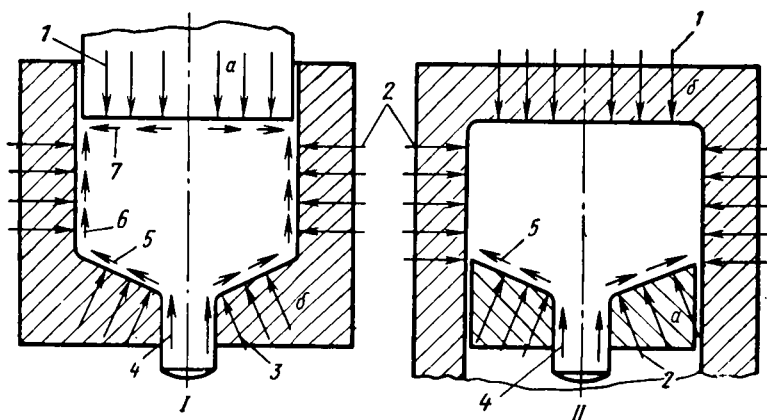


Рис. 168. Схемы и действующие силы на третьей стадии выдавливания

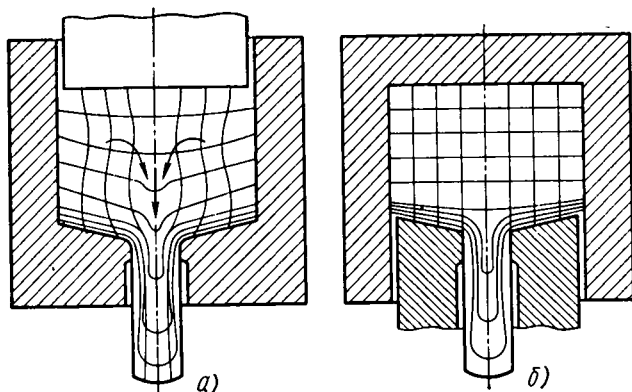


Рис. 169. Искажение координатной сетки при прямом (а) и обратном (б) выдавливании

и 7 — вследствие радиального перемещения металла по направлению к оси полости.) При обратном выдавливании возникают только силы трения 4 и 5, так как заготовка находится в глухой части основной полости и неподвижна относительно ее стенок. Однако в конце процесса заготовка смещается относительно матрицы и появляется соответствующее противонаправление силы трения. Это подтверждается экспериментами при деформации образцов с предварительно нанесенной координатной сеткой в продольном сечении (рис. 169).

На третьей стадии прямого выдавливания происходит смещение объема заготовки относительно всех стенок полости, что видно по искажению координатной сетки (рис. 169, а). В связи с этим на боковой и торцевой стенках полости (см. рис. 168, 1), кроме сил трения 4 и 5, возникают силы трения 6 и 7. Силы трения 7 у торца пуансона направлены от его оси к периферии, что согласуется с противоположным направлением соответствующего потока металла (стрелки на рис. 169, а), который при прессовании приводит к так называемой пресс-утяжине. Этот дефект в виде воронкообразной выемки образуется в результате вытекания из полости значительного количества металла (более 80%) и при выдавливании поковок обычно не встречается.

На второй стадии выдавливания, которая, как и первая, является нестационарной, действие сил подчинено несколько иной схеме. Как уже отмечалось, эта стадия при выдавливании поковок очень развита и существенно влияет на весь процесс формообразования, поэтому рассмотрим ее более подробно.

На рис. 170 представлены начало (левые части схем) и конец (правые части схем) второй стадии выдавливания прямыми и обратными методами. При прямом выдавливании внешние силы P передаются пуансоном 1, который подвижен относительно матрицы 2.

Для большей наглядности схемы расположены так, что выдавливание стержня происходит в одном направлении (вниз).

Вследствие наличия выходного отверстия на одной из торцовых поверхностей полости удельные силы с самого начала процесса на дне матрицы и на пуансоне неодинаковы. На первой стадии прямого и обратного процесса (свободная осадка заготовки) вследствие того, что $P = R$, условия истечения металла в отверстие также неодинаковы. Начало образования стержня может быть при относительно большом диаметре выходного отверстия по сравнению с диаметром заготовки.

С момента соприкосновения бочкообразной заготовки с боковой стенкой полости (вторая стадия выдавливания) возникают боковая реакция R_6 , а затем сила трения T , направленная против движения осаживаемой заготовки (остальные силы трения на рис. 170 не показаны).

Нетрудно видеть, что направление осадки заготовки в обоих случаях происходит в сторону глухой части полости. Это обуславливает действие боковых сил трения T по направлению от дна глухой полости к пуансону. В результате отклонение равнодействующих сил от сил R_6 и T происходит в разные стороны по отношению к стержневому отверстию. Из условия равновесия для обеих схем

$$P = R + T.$$

Отсюда можно заключить, что общее усилие, необходимое для осуществления прямого и обратного выдавливаний на второй стадии процесса, так же как и на первой его стадии, одинаковое. Однако удельное усилие на поверхности F с отверстием составит меньшую величину $P_{уд} = \frac{P-T}{F}$ при прямом выдавливании и большую величину $P_{уд} = \frac{P}{F}$ при обратном выдавливании. Естественно, что обратное выдавливание начнется раньше в процессе

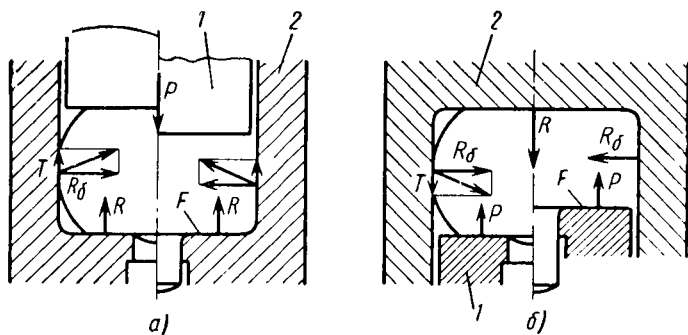


Рис. 170. Вторая стадия выдавливания;

а — прямое; б — обратное

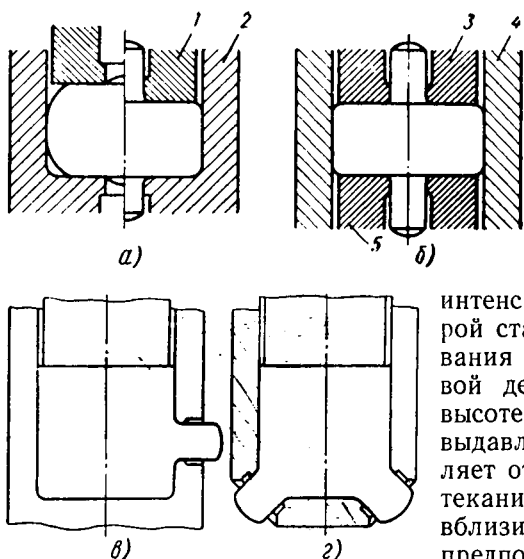


Рис. 171. Разновидности процесса выдавливания:

комбинированное (а), двустороннее, обратное (б), боковое (в); угловое (г)

возрастания усилия на деформацию заготовки и будет происходить более интенсивно, чем прямое выдавливание. Большая

интенсивность процесса на второй стадии обратного выдавливания происходит при одинаковой деформации заготовки по высоте при прямом и обратном выдавливании. Это предопределяет относительно меньшее затекание металла в углы полости вблизи матрицы и позволяет предположить увеличенную про-

тяженность второй стадии обратного выдавливания по сравнению со второй стадией прямого выдавливания.

Меньшее общее усилие обратного выдавливания по сравнению с прямым наблюдается лишь на третьей стадии процесса, поскольку при обратном процессе отсутствуют боковые силы трения и появляются только незадолго до окончания процесса в случае очень тонкой головки поковки. При прямом выдавливании эти силы действуют на всем протяжении процесса, что обуславливает относительно большие усилия и работу деформации. Таким образом, чем больше развита вторая стадия процесса прямого выдавливания и чем соответственно меньше третья его стадия, тем меньше разница между прямым и обратным выдавливаниями с точки зрения величины действующих сил.

Аналогичными остаются схемы выдавливания для поковок с отверстиями с тем отличием, что полая часть поковок образуется при истечении металла в отверстие между пуансоном и матрицей, причем профиль отверстия матрицы определяет наружные форму и размеры поковок, а профиль сечения пуансона — форму и размеры полости поковок.

Существует несколько разновидностей процессов выдавливания (рис. 171).

На рис. 171, а представлена схема процесса комбинированного (совмещенного) выдавливания. Пользуясь изложенными выше признаками типа процесса, легко установить, что верхняя часть полости штампа (со стороны входа пуансона 1) не является глухой; здесь имеет место обратное выдавливание. У дна матрицы 2 в глухой части полости происходит прямое выдавливание. Очевидно, что больший объем металла выдавливается в сторону пуансона

независимо от того, находится ли он внизу или сверху, подвижен он или неподвижен. На рис. 171, б приведена схема двустороннего выдавливания обратным методом. Здесь обе части полости не являются глухими. В штампе имеется два пуансона 3 и 5, движущихся навстречу друг другу, так что центр тяжести (и геометрический центр) заготовки остается в процессе выдавливания неподвижным относительно матрицы 4. Для осуществления такого процесса применяют машины с двусторонним движением рабочих органов.

Боковое выдавливание (рис. 171, в) возможно только через отверстие, расположенное в глухой части полости. Этот процесс аналогичен прямому выдавливанию. Сложность конструкции штампов с двумя плоскостями разреза являлась препятствием для широкого применения этого процесса. В настоящее время для осуществления такого процесса применяют многоплунжерные гидравлические прессы с движением рабочих органов под прямым углом. Боковое выдавливание может быть осуществлено в нескольких направлениях одновременно. В этом случае применяют разъем в плоскости стержней. В разъемном штампе может быть выполнено угловое выдавливание в направлении наибольших касательных напряжений (рис. 171, г). Эта схема обеспечивает хорошее воспроизведение заданной формы поковки, поскольку опыты подтверждают, что более легкое истечение металла из штампа происходит под углом $\sim 45^\circ$ к оси заготовки. Преимущество этой схемы выдавливания заключается в том, что выходное отверстие проходит через углы, в которых обычно образуются застойные (жесткие) зоны металла.

Образующиеся в прямых углах глухой части полости штампа застойные (жесткие) зоны металла приводят к увеличению неравномерности деформации. Дно полости целесообразно изготавливать в виде воронки, если это позволяет форма поковки (как на рис. 169), тогда указанные зоны металла не образуются.

На форму очага деформации оказывают влияние многочисленные факторы. При охлаждении периферийных слоев заготовки очаг деформации при прямом выдавливании сосредоточивается в середине заготовки. Смазка полости матрицы и тщательная ее обработка приводят к уменьшению сил трения. При этом очаг деформации увеличивается и приближается к выходному отверстию. С уменьшением отношения диаметра полости штампа к диаметру стержневого отверстия ($d_n : d$) очаг деформаций уменьшается.

Обратное выдавливание характеризуется наличием очага деформации, сосредоточенного у выходного отверстия. Значительное влияние оказывает отношение диаметра к высоте деформируемой заготовки.

Анализу процесса выдавливания посвящено много работ, в том числе работы Л. А. Шофмана, исследовавшего деформации и напряжения идеально пластического тела (т. е. неупрочняющегося) при плоской и осесимметричной деформации. Использование гра-

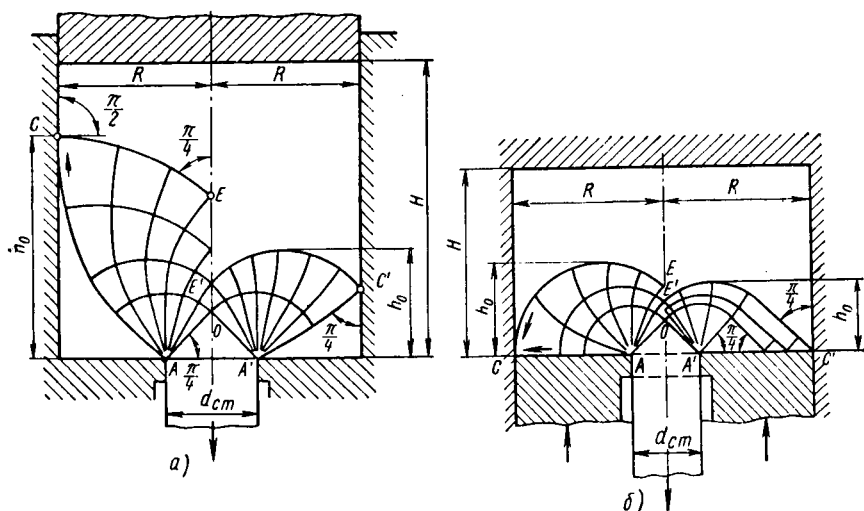


Рис. 172. Поля линий скольжения для третьей стадии прямого (а) и обратного (б) выдавливания в условиях максимального трения ($\mu = 0,5$, левые части схем) и отсутствия трения ($\mu = 0$, правые части схем) (по Л. А. Шофману)

фического метода построения полей скольжения применительно) к жесткопластической деформации дало возможность определить напряжения и деформации в любой точке пластической зоны деформируемого тела. На рис. 172 показаны поля линий скольжения для третьей стадии прямого (а) и обратного (б) выдавливания в условиях плоской деформации. Плоская схема деформации условно может быть распространена и на осесимметричную деформацию, применительно к которой и даны обозначения на рисунках.

Для построения сеток и их анализа деформируемый объем подразделяют на зоны больших пластических деформаций (очаг деформации), упругие (жесткие) зоны, в которых предполагается отсутствие остаточных деформаций, и переходные зоны. Поскольку теоретический анализ жесткопластического тела учитывает только зоны больших пластических деформаций, наиболее достоверной по этому методу является форма очага деформации. Сопоставление сеток линий скольжения с координатными сетками (см. рис. 169) показывает, что получаемые результаты в достаточной мере совпадают, согласно им форма очага деформации описывается контуром полей линий скольжения ACE (рис. 172 при максимальном контактном трении, левые части схем) и $A'C'E'$ (при отсутствии контактного трения). Поля линий скольжения при прямом выдавливании (рис. 172, а) подтверждают образование жестких зон в глухих частях полости даже при отсутствии контактного трения. Роль контактного трения в этом случае весьма существенна

(сравните левую и правую части схем). При уменьшении сил трения очаг деформации уменьшается в объеме и сосредоточивается вблизи стержневого отверстия.

При обратном способе выдавливания (рис. 172, б) жесткие зоны образуются при любых контактных условиях в глухих частях полости. Уменьшение трения мало изменяет объем и форму очага деформации, который сосредоточен вблизи стержневого отверстия.

По данным Л. А. Шофмана относительные высоты пластических зон $\frac{h_0}{R}$ при прямом выдавливании на третьей стадии процесса соответствуют: при $\mu = 0,5$ на боковой поверхности полости $\frac{h_0}{R} = 1,4$, при $\mu = 0$ $\frac{h_0}{R} \approx 0,7$. Соответственно для обратного метода выдавливания при $\mu = 0,5$ $\frac{h_0}{R} \approx 0,6$ и при $\mu = 0$ $\frac{h_0}{R} \approx 0,5$. Эти данные относятся к выдавливанию в узкое прямоугольное стержневое отверстие, но, как и другие данные по плоской задаче, они условно могут быть распространены и на осесимметричную задачу, т. е. на выходные отверстия диаметром $d_{ст}$ круглого сечения.

Деформация заготовок, у которых относительная высота больше указанных для очага деформации, происходит в условиях стационарного процесса. Если относительная высота заготовок меньше, чем относительная высота очага деформации, то процесс нестационарен, так как пластическая зона непрерывно уменьшается по мере уменьшения высоты заготовки H .

Графики «усилие—рабочий ход» при условии истечения металла через очко имеют различную форму (рис. 173). Начальный подъем кривых соответствует первой стадии процесса — периоду осадки заготовок. Средняя часть кривых относится к стационарному периоду выдавливания, а подъем кривых в конце процесса связан с возрастанием сопротивления трения на торцах вследствие значительного уменьшения высоты заготовки. Примерно постоянное усилие выдавливания (кривая 1) бывает в двух случаях: при относительно небольшой скорости прямого истечения нагретого металла, когда уменьшение боковых сил трения по мере укорочения заготовки сопровождается увеличением сопротивления деформации в связи с понижением температуры металла; при обратном выдавливании, когда температура металла существенно не изменяется.

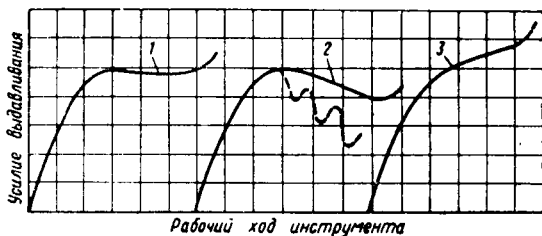
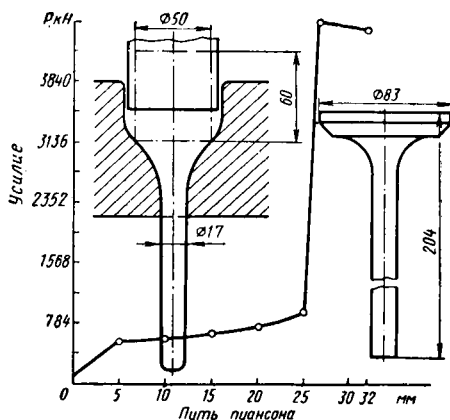


Рис. 173. Типовые графики «усилие — рабочий ход» при выдавливании металла

Рис. 174. График «усилие — рабочий ход» при выдавливании клапана (по А. В. Ребельскому)



Падение усилия прямого выдавливания (кривая 2) наблюдается в связи с уменьшением сил трения, в то время как температура металла заметно не изменяется. Штриховой линией показан характер кривой при выдавливании сплавов, склонных к проявлению хрупкости.

Возрастание усилия выдавливания (кривая 3) является следствием большой скорости деформирования, при которой упрочнение полностью не устраняется в процессе одновременно протекающей рекристаллизации металла. По такой схеме совершается обычно выдавливание стальных поковок.

Деформация при выдавливании сопровождается большим гидростатическим давлением и вследствие этого очень высокими удельными усилиями течения. Это обстоятельство долгое время препятствовало практическому использованию выдавливания стали из-за небольшого срока службы инструмента. Применение прочных штамповых сталей и эффективных, например стеклянных, смазок, позволяет успешно деформировать различные стали и малопластичные сплавы. На рис. 174 приведен график усилий при выдавливании клапана (операция 1) на кривошипном прессе. Из заготовки диаметром 50 мм и высотой 60 мм в первом ручье выдавливается стержень клапана. Затем заготовку штампуют в окончательном ручье закрытого типа, в котором длина стержня практически не увеличивается. Клапаны выдавливают и за один переход.

Кривая на рис. 174 типична для условий выдавливания поковок. По этой кривой можно судить о том, что большая часть хода пуансона затрачивается на заполнение полости и только незначительная его часть при возрастании усилия от 980 до 4300 кН происходит при уже заполненной полости матрицы, форма которой близка к конической. Для выдавливания степень деформации подсчитывают как $\frac{F-f}{F}$, а коэффициент деформации как $K_v = \frac{F}{f}$, (F и f соответственно площади сечения матрицы по входному и выходному отверстиям, которые неизменны для данного процесса выдавливания). Согласно этим показателям величина деформации не зависит от обжатия по высоте заготовки и постоянна от начала и до конца процесса. При таком подсчете игнорируют величину деформации на первых двух стадиях выдавливания, когда заготовка меньшего сечения превращается в полуфабрикат большего

сечения. Использовать эти показатели для расчетов процесса выдавливания можно лишь в третьей стадии, которая, как было сказано, относительно мала. Большая часть деформации при выдавливании поковок происходит на первых двух стадиях процесса, когда степень деформации не только зависит, но и определяется величиной деформации по высоте.

Следовательно, при выдавливании поковок степень деформации определяется двумя показателями, которые можно определить экспериментально. До сих пор методика точного расчета суммарной степени деформации при выдавливании не разработана. Поэтому отсутствует и точная расчетная характеристика неравномерности деформации при выдавливании. Однако процессы выдавливания сопровождаются значительной неравномерностью деформации, что особенно характерно для короткой стержневой части поковки, образуемой в основном на стадии неустановившегося процесса. Об этом можно судить по искажению поперечных к оси заготовки линий на рис. 169. Если о неравномерности деформации судить по изменению твердости за счет наклепа при холодном выдавливании поковок, то действительная местная степень деформации увеличивается в поперечном сечении стержня от его оси к периферии и по длине стержня — от его конца к месту перехода в корпусную часть поковки. Для разграничения степени деформации и соответственно ее неравномерности в корпусной и стержневой частях поковки следует модель (разрезанную по продольному сечению) с координатной сеткой на одной ее половине деформировать до начала стадии заполнения полости. По искажению сетки можно установить распределение деформации на первой и второй стадиях выдавливания. После этого наносят координатную сетку на другую, уже обжатую половину образца; после окончания выдавливания стержня можно установить неравномерность деформации и на третьей стадии выдавливания. В качестве показателя неравномерности деформации в стержневой части поковки может быть использован угол γ отклонения линий координатной сетки от своего первоначального положения (рис. 175).

Более наглядно эта неравномерность деформации может быть оценена величиной, учитывающей кривизну линий координатной сетки по длине стержня. Из рассмотрения расположения этих линий можно заключить, что

$$i_c + a_{n+1} = i_k + a_n,$$

откуда

$$a_{n+1} - a_n = i_k - i_c \text{ или } \Delta a = \Delta i,$$

где i_k — расстояние между краями линий искаженной координатной сетки; i_c — расстояние между серединами линий координатной сетки.

Величины Δa и Δi отражают нарастание кривизны линий сетки и являются характеристикой абсолютной продольной неравномер-

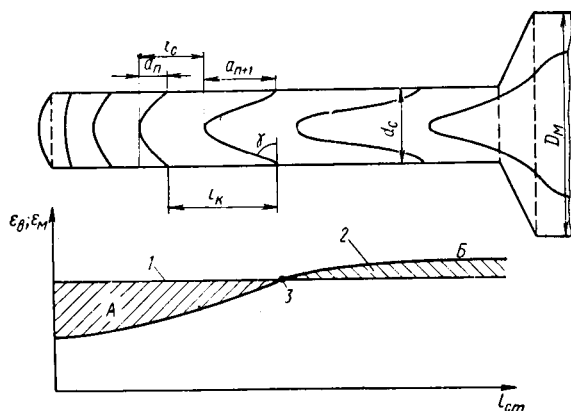


Рис. 175. Неравномерность деформации при выдавливании;

1 — линия расчетной деформации; 2 — линия действительной деформации ε_M по длине стержня; 3 — точка пересечения этих линий

ности деформации между любыми двумя соседними поперечными линиями сетки в стержне поковки.

Относительной величиной неравномерности деформации является отношение $\frac{\Delta i}{i_0}$ (i_0 — шаг координатной сетки, в данном случае — расстояние между параллельными линиями, нанесенными вдоль диаметра исходной цилиндрической заготовки в ее продольном сечении).

Неравномерность деформации можно выразить также разностью или отношением величины деформации средней для всего объема к местной для выбранной точки.

На рис. 175 приведено сопоставление расчетной (средней) величины деформации, подсчитанной как $\varepsilon_B = \frac{F-f}{F}$ (прямая 1, $F = \frac{\pi D_M^2}{4}$ и $f = \frac{\pi d_c^2}{4}$), с местной деформацией, подсчитанной как $\varepsilon_M = \frac{i-i_0}{i}$ (кривая 2, i — расстояние между линиями сетки).

Это расстояние определяют исходя из того, что местную деформацию можно подсчитать в любом месте сечения стержня. Например, вдоль оси стержня $\varepsilon'_M = \frac{i-i_0}{i_c}$; у поверхности продольная местная деформация составляет $\varepsilon''_M = \frac{i_k-i_0}{i_k}$. Величины ε_B и ε_M соизмеримы, так как обе изменяются в пределах от 0 до 1.

Конец стержня получает местную деформацию $\varepsilon_M < \varepsilon_B$, а его противоположная часть $\varepsilon_M > \varepsilon_B$. Точка 3 пересечения прямой 1 и кривой 2 соответствует равенству $\varepsilon_M = \varepsilon_B$. Левее этой точки

(область А) местные продольные деформации стержня меньше расчетных, а правее (область Б) даже несколько больше расчетных. Разность $\Delta \epsilon = \epsilon_v - \epsilon_m$ характеризует абсолютную продольную неравномерность деформации (слева отрицательная или нижний предел, справа положительная или верхний предел неравномерности). Точка 3, определяемая величиной ϵ'_m , находится правее аналогичной точки, определяемой величиной ϵ''_m . Таким образом, равенство $\epsilon_m = \epsilon_v$ вдоль диаметра стержня описывается некоторой кривой.

Для определения неравномерности деформации в поперечных направлениях (по диаметру стержня) можно воспользоваться положениями о постоянстве объема и о связи продольных и поперечных деформаций. Неравномерность деформации определяется схемой процесса выдавливания, но в большей мере зависит и от контактных сил трения, которые вредны, поскольку сдерживают, тормозят деформацию.

В последнее время получает промышленное внедрение разновидность выдавливания, при которой силы трения на боковой поверхности заготовки направлены в сторону истечения металла, т. е. полезны, и имеют активный характер. На рис. 176 приведены варианты схем выдавливания с активным трением поковок типа стержень с головкой и стаканообразных полых поковок. При выдавливании стержневых поковок (рис. 176, а) инструмент состоит из обоймы матрицы 1, пуансона 2 и матричной воронки 3.

При выдавливании полых поковок (рис. 176, б) инструмент состоит из обоймы матрицы 1, пуансона 2 и знака 3, формирующего полость поковки. Слева приведены схемы I выдавливания стержневой (вверху) и полый (внизу) поковок по типу прямого процесса, но при одновременном движении обоймы матрицы 1 со скоростью большей, чем скорость пуансона 2 ($W_1 > W_2$; $W_3 = 0$). При этом на заготовку действуют активные силы трения T_A в направлении истечения металла. Схемы II оформлены по типу обратного выдавливания, причем активное трение возникает при встречном движении частей 1 и 3 инструмента ($W_3 = 0$). Схемы III отличаются тем, что обоймы матрицы неподвижны ($W_1 = 0$), а две остальные части инструмента движутся навстречу друг другу, но с различными скоростями ($|W_3| > |W_2|$). Активные силы трения T_A здесь возникают за счет смещения заготовки относительно обоймы матрицы, тогда как в предыдущих схемах они возникали за счет смещения обоймы относительно заготовки. Схемы IV отличаются встречным движением частей 2 и 3 инструмента, обжимающего заготовку при одновременном движении обоймы, обеспечивающей активное трение T_A . Это более сложная схема характеризуется движением всех трех элементов инструмента, тогда как предыдущие схемы по рис. 176 — движением двух элементов инструмента, а обычное выдавливание — движением одного элемента инструмента. Однако эти усложнения технически осуще-

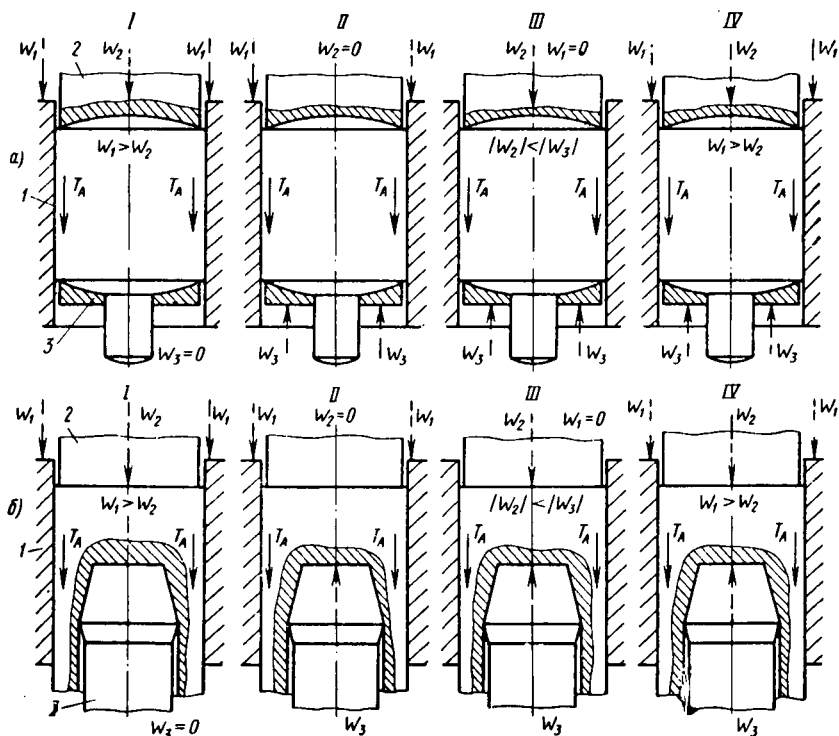


Рис. 176. Схемы выдавливания с активным боковым трением (МИСУС):

а — для поковок типа стержень—головка; б — для полых поковок; W_1 , W_2 , W_3 — векторы скоростей ободья матрицы, пуансона и матричной воронки (а) или знака, формирующего полость (б); T_A — активная сила трения

ствимы и технологически вполне оправданы. Переход к выдавливанию с активным трением позволяет регулировать распределение деформации по объему поковки. Преимущества этого процесса состоят в более равномерном распределении деформаций и, как следствие, в более однородных механических свойствах по объему поковки. Поперечные линии координатной сетки превращаются при прямом и обратном выдавливании в дуги с выпуклостью к переднему концу стержня, а при описываемом процессе они в зависимости от величины сил трения T_A могут выравняться и подвергнуться даже обратному изгибу.

Это свидетельствует о возможности изменять степень неравномерности деформации. Кроме того, можно не опасаться центральной утяжки металла вдоль оси заготовки, естественной для прямого процесса, исчезают застойные зоны в области углов глухих полостей, скорость деформации может быть значительно увеличена без опасности образования ершевидных трещин на стержне и т. д.

Рис. 177. Выдавливание стаканообразных поковок по схеме III нарис. 176 (С. Ш. Яшайев):

a — исходное положение штампа (заготовка зачернена); *б* — начало (слева) и конец (справа) полезного хода пресса; *в* — штамповка окончена и пуансон поднят в исходное положение; 1 — выталкиватель; 2 — матрица; 3 — замок; 4 — съемник; 5 — пуансон; 6 — заготовка (зачернена); 7 — поковка, снятая с пуансона съемником

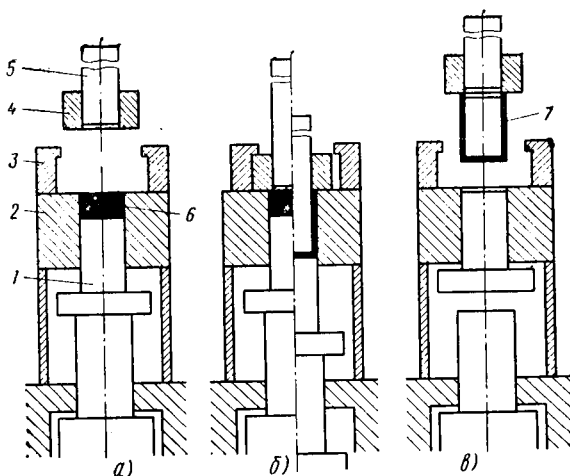


Схема III процесса при $W_1 = 0$ использована С. Ш. Яшайевым (рис. 177) для ряда технологических процессов штамповки сплошных и полых поковок на кривошипном прессе, снабженном маркетным устройством. Для осуществления правой схемы на рис. 176 необходим пресс тройного действия, но встречная деформация в этом процессе обеспечивает высокую скорость деформации при небольшом рабочем ходе пуансона и знака. Использование пресов двойного и тройного действия для горячей штамповки должно способствовать дальнейшему совершенствованию технологии производства поковок.

Застойные зоны, образующиеся при штамповке выдавливанием, относительно которых происходит смещение металла, ухудшают качество металла поковок. По границе застойного элемента может образоваться зажим, ведущий к браку поковки. В подобных случаях штамповать выдавливанием целесообразно в два перехода (рис. 178). В первом переходе (рис. 178, *a*) стержневую часть поковки получают несколько укороченной $l_{cm} < l_{cm}$. Застойная зона здесь исключена за счет плавного перехода от корпуса

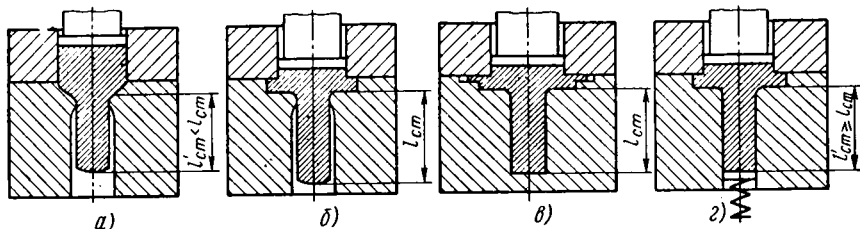


Рис. 178. Схемы выдавливания грибовидной поковки:

a и *б* — в два перехода в матрице с дополнительным разъемом; *в* — то же, но второй переход в закрытом штампе с круговым компенсатором; *г* — в один переход в штампе с противодавлением (по И. С. Эдуардову)

к стержню поковки. Второй переход (рис. 178, б) обеспечивает полную длину стержня $l_{ст}$ и оформление корпуса поковки без образования застойной зоны и зажима. Эту же поковку можно штамповать за два перехода так: в первом выдавливание стержня полной длины $l_{ст}$, во втором (рис. 178, в) штамповка без образования зажимов с использованием закрытого штампа с дополнительным разъемом по матрице (как и в предыдущем случае), но с круговым наружным компенсатором. Штамповка за один переход по схеме на рис. 178, б и в сопровождается образованием застойных зон и не исключает зажимов. Для штамповки этой поковки за один переход (рис. 178, г) можно применить выдавливание с противодавлением пуансоном, имеющим контакт с поковкой по всей ее торцевой поверхности. Образование здесь застойной зоны не приводит к зажимам.

В данном случае прямого выдавливания пружинный подпор стержня обеспечивает заполнение углов полости, а излишек металла выдавливается в стержневую часть поковки. Противодавление может быть создано также за счет гидравлики или пневматики. Гидравлическое противодавление предпочтительнее, так как позволяет регулировать силу противодавления. Противодавление бывает необходимым при выдавливании хрупких или малопластичных сплавов, для которых необходим полный контакт с инструментом при деформации, обеспечивающий благоприятную схему напряжений. По схеме на рис. 178, г противодавление необходимо только на третьей стадии выдавливания, но при выдавливании малопластичных сплавов — на всех стадиях.

Противодавление увеличивает усилие, необходимое для выдавливания, так как приводит к повышению и без того большого среднего напряжения шарового тензора.

В реальных условиях процесса степень деформации при выдавливании достигает 80—90%, что соответствует $K_b = 5 \div 15$. Скорости истечения или выдавливания W_f пропорциональны коэффициенту деформации K_b и скорости движения инструмента W_F .

Скорость истечения

$$W_f = W_F K_b = W_F \frac{F}{f}.$$

Например, для гидравлического быстроходного пресса скорость движения инструмента составляет 0,15 м/с, что при $K_b = 10$ соответствует скорости выдавливания $W_f = 1,5$ м/с. Для более быстроходных машин (кривошипных, винтовых фрикционных прессов) эта скорость во много раз больше.

5. Прошивка в штампах

Прошивка представляет собой процесс вдавливания инструмента (пуансона) в заготовку, в результате которого получают поковки с углублениями (полостями) различной формы. Различают

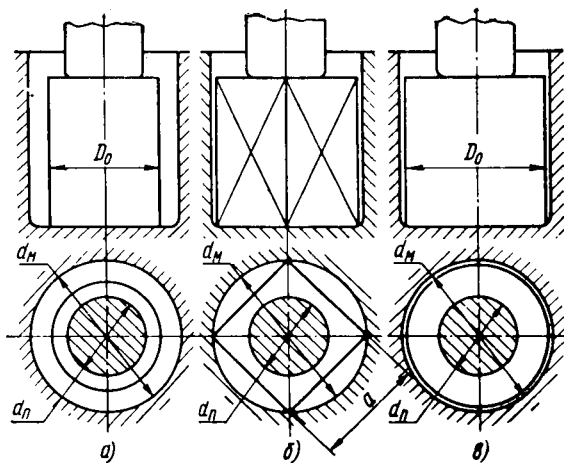


Рис. 179. Разновидности схем закрытой прошивки

открытую, или свободную, и закрытую прошивку в зависимости от того, имеет ли металл возможность свободно течь перпендикулярно направлению действующей силы или на некоторой стадии процесса это течение ограничено полостью штампа. Прошивку как специализированный процесс применяют для получения поковок типа снарядных стаканов, гильз, толстостенных баллонов, пустотелых деталей и т. п. Для глубокой прошивки необходима большая величина рабочего хода, поэтому особенно широко применяют прошивку на гидравлических прессах. Эти прессы обычно снабжены выталкивателями, что важно при штамповке с небольшим уклоном полости штампов.

Разновидности процесса закрытой прошивки в основном характеризуются формой и соотношением размеров заготовок (рис. 179). Если диаметр цилиндрической заготовки (рис. 179, а) меньше диаметра матрицы ($D_0 < d_m$), процесс прошивки состоит из трех стадий: первая — свободная прошивка, сопровождающаяся осадкой и радиальной раздачей заготовки; вторая начинается с момента соприкосновения бочкообразной боковой поверхности заготовки со стенками матрицы. Обе эти стадии являются нестационарными. Когда полость матрицы в основном заполнится, начинается обратное выдавливание металла — третья стадия прошивки. Эта стадия процесса может рассматриваться как стационарная.

Прошивают также заготовки квадратного сечения в цилиндрической матрице (рис. 179, б). Диагональ квадратной заготовки, взятой с положительным допуском, должна быть немного меньше диаметра матрицы d_m . При этом сторона квадратной заготовки a должна удовлетворять условию $a + \Delta \leq 0,7d_m$. В этом случае на первой стадии радиальная раздача металла происходит только

в направлениях, перпендикулярных к граням квадратной заготовки, так как по диагоналям поперечного сечения заготовка упирается в боковые стенки штампа. После соприкосновения заготовки по всему периметру с боковыми стенками штампа начнутся, как и обычно, вторая и третья стадии процесса.

Если диаметр круглой заготовки с учетом положительного допуска примерно равен диаметру матрицы (рис. 179, а) $D_0^{\pm\Delta} = d_m$, то полость образуется в заготовке преимущественно за счет выдавливания, т. е. третьей стадии прошивки, минуя две первые. На первой стадии прошивки непосредственно под пуансоном наблюдается схема трехосного неравномерного сжатия; во внешнем кольцевом участке возникают тангенциальные положительные деформации и напряжения того же знака. При штамповке недостаточно пластичных металлов и сплавов совпадение положительных напряжений и деформаций может привести к появлению продольных трещин на боковой поверхности заготовки. Во избежание их первую стадию прошивки сокращают до возможного минимума, выбирая диаметр заготовки, близкий к диаметру полости матрицы.

В период появления реактивных сил от боковых стенок полости штампа тангенциальные положительные деформации исчезают, растягивающие напряжения сменяются сжимающими, появляется добавочное гидростатическое давление и в любой точке заготовки наблюдается схема трехосного неравномерного сжатия. Высокая пластичность, сопутствующая этой схеме напряжений, исключает появление трещин. Деформация заготовки с увеличением размера вдоль образующей полости матрицы обычно не приводит к появлению трещин, так как напряжения в этом направлении имеют противоположный знак (сжимающие).

На первой стадии процесса прошивки заготовок квадратного сечения положительные тангенциальные деформации имеются только на участках, где металл не соприкасается с боковыми стенками штампа. При прошивке квадратных заготовок пуансонами небольшого диаметра ($d_p/d_m < 0,4$) металл не заполняет полости матрицы и на поковке остаются фаски.

— График «сила—путь» при прошивке (рис. 180) имеет несколько участков. Соответственно первым двум стадиям — подъем, затем на третьей стадии почти горизонтальная линия. Максимум в конце процесса объясняется приближением пуансона к дну матрицы. При прошивке применяют пуансоны с коническими тупыми, сферическими и плоскими головками. Если форма пуансона не обусловлена конфигурацией дна полости поковки, то при разработке технологии прошивки следует учитывать данные о влиянии формы пуансона на усилие прошивки (рис. 180). По этим данным вначале усилие прошивки при плоском пуансоне больше, чем при сферической или конической его форме. В конечной стадии процесса, напротив, наименьшее усилие требуется при прошивке плоским пуансоном и наибольшее — при прошивке пуансоном конической формы. Объяснить это явление можно следующим.

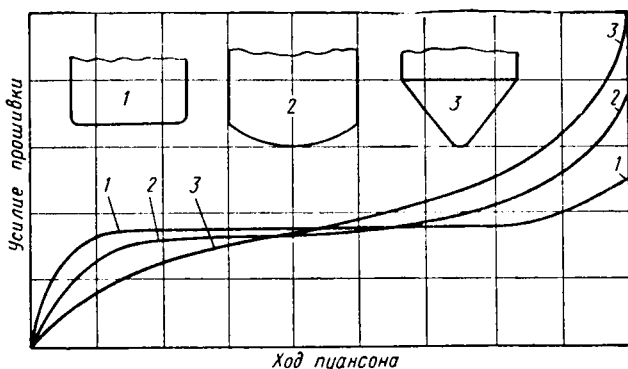


Рис. 180. Влияние формы рабочей части пуансона на усилие прошивки;

1 — пуансон с плоской; 2 — со сферической и 3 — с конической формой головки (по М. С. Цибановой)

Конический пуансон внедряется в заготовку и подобно клину раздвигает металл в радиальном направлении (рис. 180). Когда в конце процесса происходит обратное выдавливание металла, то перемещение его вдоль оси конусной головки пуансона сопровождается уменьшением поперечного сечения (в промежутке между пуансоном и матрицей), т. е. происходит течение в сужающуюся полость. Это вызывает повышение усилия прошивки. При свободном внедрении в заготовку пуансона с плоской головкой (рис. 180) необходимо выдавливать металл в стороны, а не раздвигать его, как при использовании пуансона с конической головкой. Это требует больших напряжений в начале процесса, но зато обратное выдавливание металла в конце прошивки облегчено, так как полость, в которой перемещается металл, имеет постоянное сечение по высоте. Поэтому при перемещении металла инструмент преодолевает лишь силы трения между готовой частью поковки и стенками штампа (за пределами очага деформации).

На рис. 181 показаны действующие при прошивке силы — внешние и их реакции (левые половины схем) и силы трения (правые половины схем). Для конического пуансона (рис. 181, а) нормальная сила N , действующая со стороны пуансона на металл, представлена двумя составляющими: силой N_x на радиальную деформацию и силой N_y обжатия заготовки по высоте. Давление металла на боковую стенку полости вызывает появление реакции R . Силы трения T на пуансоне представлены составляющей T_x , направленной против вектора N_x , и составляющей T_y , направленной в сторону N_y .

При плоском пуансоне (рис. 181, б) действует внешняя сила N . С момента соприкосновения металла с боковой стенкой полости возникает сила N_6 и ее реакция R . Силы трения T действуют на всех контактных поверхностях (указаны стрелками). Вертикаль-

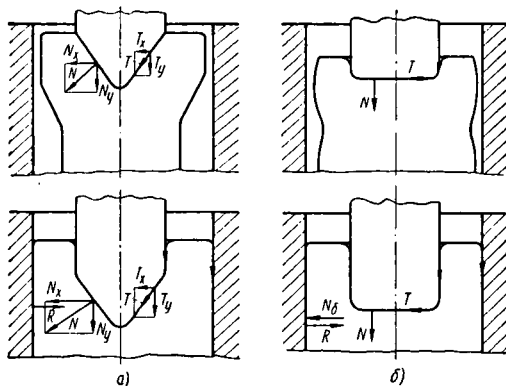


Рис. 181. Схемы действующих сил при прошивке конусным и плоским пуансонами

ные силы трения направлены против движения выдавливаемого металла. Во всех случаях имеются в виду силы трения, действующие на инструменте (на металле силы трения направлены в противоположные стороны).

На величину усилия прошивки влияет толщина стенки прошитого стакана. Наименьшие удельные усилия при прошивке соответствуют величине $d_n : d_0 = 0,5 \div 0,6$.

Деформацию металла при прошивке можно проследить по искажениям прямоугольной координатной сетки (рис. 182). При прошивке закругленным пуансоном (а) зона наибольших деформаций расположена непосредственно по ним. При плоском пуансоне (б) контактное трение на его торце приводит к образованию зоны затрудненной деформации, перемещающейся при прошивке вместе с пуансоном. Зона наибольших деформаций в этом случае расположена на некотором расстоянии от торца пуансона.

Результаты определения степени деформации по оси прошивки методом измерения шага винта, ввинченного в заготовку перед ее прошивкой (в), хорошо согласуются с распределением деформаций по координатной сетке.

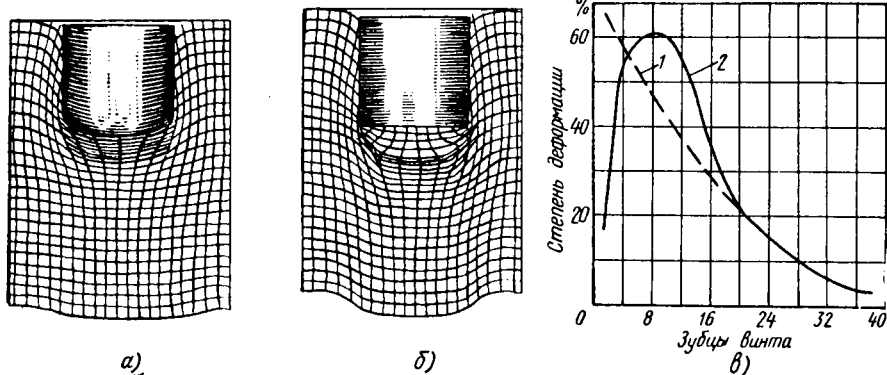


Рис. 182. Изменение координатной сетки продольного сечения заготовки при прошивке;

а — закругленным и б — плоским пуансонами; в — изменение деформаций по оси прошиваемой заготовки

6. Штамповка в разъемной матрице

При наличии разъема матрицы штамп имеет две плоскости разъема, что дает ряд преимуществ. Главное достоинство такого штампа состоит в возможности отказаться от штамповых уклонов, что экономит металл. Не менее важное качество двухразъемных штампов — возможность штамповать в полости, расширяющейся от входного отверстия к дну, а также получать такие формы поковок, которые не могут быть извлечены из обычной полости штампа. Кроме того, дополнительный разъем штампа по матрице дает возможность закрывать полость штампа, выполненного по типу открытого (см. рис. 165), располагать по месту разъема компенсаторы, улучшить условия центрирования заготовок в ручье и обеспечить фиксацию их необходимого положения до начала штамповки.

Разъем по матрице может быть выполнен в двух вариантах: в одном разъем матрицы перпендикулярен движению пуансона (рис. 183, а), в другом параллелен этому направлению (рис. 183, б). Штампы с двумя разъемами, как правило, состоят из матрицы и пуансонов, как и все другие прессовые штампы.

Типичным оборудованием для штампов с пространственным разъемом являются горизонтально-ковочные машины и винтовые фрикционные прессы. Эти штампы стали применять и на кривошипных прессах. Гидровинтовые прессы приспособлены для штамповки в разъемной матрице. Особенно удачно решают вопросы технологии штамповки выдавливанием в разъемной матрице. В этом случае поковки типа тройников, крестовин и других подобных форм штампуют по схемам, приведенным на рис. 183. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что штампы с взаимно перпендикулярным разъемом работают в условиях распора. Части матрицы должны надежно удерживаться обоймой (см. рис. 253) или специальным устройством (см. рис. 260)..

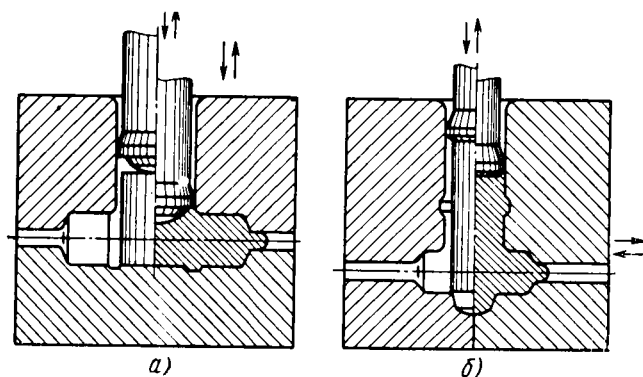


Рис. 183. Схемы штампов с разъемной матрицей в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

7. Скоростная штамповка

В дополнение к обычным молотам, обеспечивающим скорости в момент встречи штампа с заготовкой до 6—8 м/с, в последние годы появились новые машины и средства, позволяющие значительно увеличить используемые скорости и сократить цикл штамповки. Высокоскоростные молоты развивают скорости свыше 20—30 м/с (например, молот «Сибирь» — 31 м/с, молот типа Динапак — 18—30 м/с). Машины, известные под названием «импакторы», развивают скорости 100—200 м/с, а в модельном исполнении до 400 м/с. Еще больших скоростей достигают при импульсных процессах, осуществляемых на базе взрывной волны, магнитно-импульсных полей и т. д. Стремление увеличить скорость движения рабочих органов машин объясняется не столько перспективой сокращения машинного времени при штамповке, сколько другими преимуществами больших скоростей при металлообработке давлением. С повышением скорости деформации значительно уменьшается коэффициент контактного трения (в 2—5 раз при скоростях 20 м/с), что приводит не только к уменьшению энергоемкости деформации, но и к меньшей ее неравномерности и лучшему формо- и рельефообразованию у металлов. Тепловыделение в момент сверхскоростного удара практически не сопровождается рассеиванием (диссипацией) тепловой энергии и процессы деформации совершаются в условиях, близких к адиабатическим. Это приводит к повышенной четкости рельефа при заполнении сложных фигур штампа, уменьшению необходимых толщины полотен поковок и радиусов скругления их ребер (табл. 30).

Эффект увеличения скорости многообразен и проявляется, в частности, в виде сил инерции, которые приводят к тому, что

Таблица 30

Сопоставление возможностей обычного и высокоскоростного оборудования для штамповки (по Ю. П. Согрину)

Сравниваемая величина	Кривошипный горячештамповочный пресс	Молот двойного действия (паровоздушный)	Молот высокоскоростного действия
Наименьшая толщина стенки или ребра поковки, мм	3—4	1,5—2,0	1,0—1,5
Наименьшая толщина полотна, мм	2—3	1,5—2,0	1,0
Наименьший радиус закругления, мм	3—5	2,0—3,0	До 1,0
Продолжительность контакта инструмента с металлом под нагрузкой, с	0,02—0,08	0,005—0,008	0,002—0,003

усилие на деформацию при выдавливании не возрастает, как обычно, а уменьшается, причем тем больше, чем выше начальная скорость выдавливания. По данным Ю. П. Согришина при 10-кратном коэффициенте деформации усилие на пуансоне уменьшается на 15—40%, причем работа сил инерции составляет примерно 8%. Точность диаметральных размеров получаемых поковок достигает 4—5-го классов, а шероховатость поверхности — 5—7-го классов, что позволяет в отдельных случаях не применять механическую обработку, оставляя ее только для мест сопряжений детали с другими деталями. Возможность штамповки с малыми уклонами ($0,5^\circ$), а при использовании специальных конструкций штампов и вовсе без уклонов, еще одно преимущество скоростной штамповки.

Адиабатический характер деформации при большой энергии, поглощаемой металлом, приводит его к разогреву, поэтому поковки с очень тонким полотном штамповать на этих молотах не рекомендуется, а для обычных поковок следует снижать температуру начала штамповки на $50\text{—}100^\circ\text{C}$. С нагретых заготовок окалина должна быть полностью удалена, так как одноударная штам-

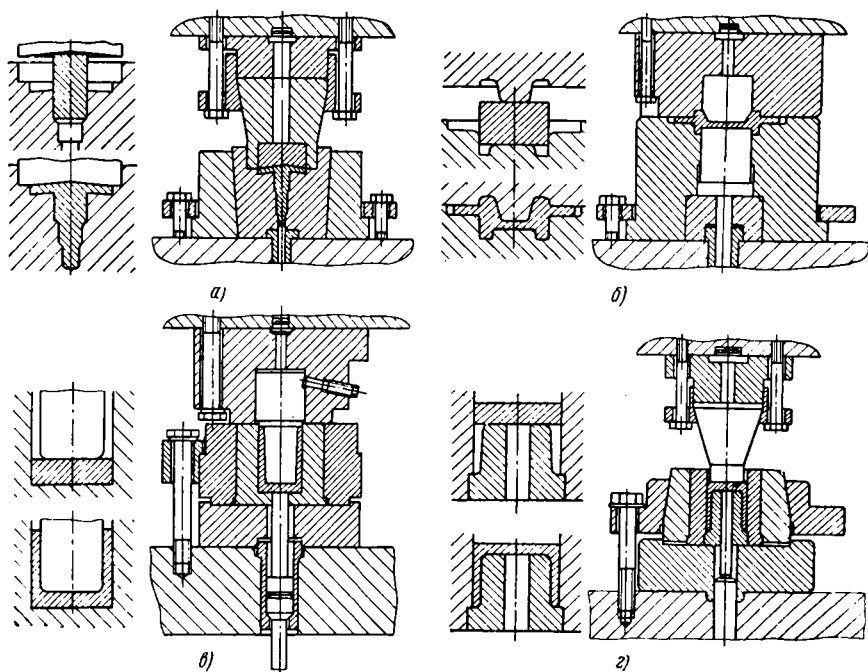


Рис. 184. Начальные и конечные стадии штамповки (левые части позиций) и схемы штампов (правые части позиций) скоростных молотов:

а — высадка заготовки с последующим прямым выдавливанием поковки со ступенчатым стержнем; б — штамповка в открытом штампе; в — обратное выдавливание полой поковки; г — прямое выдавливание полой поковки

повка сопровождается заштамповкой окалины. Штампы применяют обычного типа (открытые и закрытые), а также разъемные, безуклонные.

К недостаткам скоростной штамповки на молотах относят затрудненность их использования для штамповки за 2—3 перехода из-за опасности внецентренного нагружения, а также длительность (5—10 с) промежутка между ударами, что препятствует штамповке в одном ручье за 2—3 удара без опасения значительного остывания заготовки. До сих пор скоростную штамповку применяли преимущественно для тонкорельефных или оребренных поковок типа тел вращения, штампуемых в одноручьевых штампах.

8. Изотермическая штамповка

Этот процесс обеспечивает получение поковок высокого качества и заданных размеров. Отклонения размеров вызываются разбросом температур окончания горячей штамповки. Различия тепловой усадки на размер достигают 0,2—0,3%, при точной штамповке это может быть значительной величиной. Другие отклонения размеров поковок связаны с применением машин с жестким ходом и с различной упругой деформацией деталей машин в результате неодинаковых усилий при непостоянной температуре штампуемых заготовок. При изотермической штамповке эти отклонения исключены, так как все заготовки на всех переходах имеют одинаковую температуру от начала и до конца процесса. Однако основное назначение изотермической штамповки заключается в удовлетворении некоторых специфических требований штамповки многих специальных сплавов. Температурный интервал при штамповке некоторых жаропрочных сплавов составляет всего 30—50° С, что не позволяет вести процесс

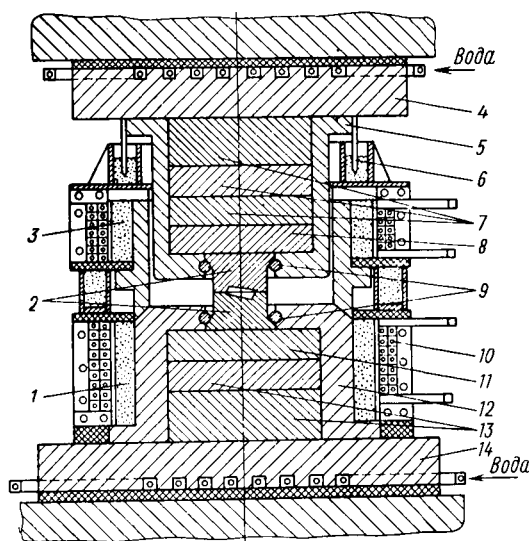


Рис. 185. Штамп для изотермической штамповки на кривошипном горячештамповочном прессе (по В. В. Бойцову):

1, 3 — теплоизоляция (кремнеземовые плиты); 2 — рабочие вставки (сплав Ж6С-К или Ж6С-У); 4, 14 — водоохлаждаемые плиты (сталь 12Х18Н10Т); 5, 12 — муфелы верхний и нижний (жаропрочный сплав ХН77ТЮР); 7, 13 — набор проставок (сплав ХН77ТЮР); 9 — шпильки для крепления вставок штампов; 10 — нижний индуктор водоохлаждаемый с магнитопроводами (50 Гц)

в обычных условиях. Кроме того, необходимость изотермического режима штамповки обуславливается чрезвычайно низкими допустимыми скоростями деформации для некоторых сплавов, что замедляет штамповку, приводит к недопустимому подстуживанию заготовок и в итоге к браку поковок. Некоторые сплавы (в частности, титановые) обладают весьма низкой теплопроводностью. Для них опасен перепад температур, вызываемый соприкосновением с относительно холодным штампом, что можно предотвратить при изотермической штамповке. Наконец, для некоторых сплавов опасно отсутствие интенсивной диссипации тепловой энергии при быстрой деформации, что предотвращается медленной деформацией при изотермической штамповке. Таким образом, основное назначение изотермической штамповки — обеспечить высокое качество поковок из сплавов со специальными физическими свойствами. Штамп для изотермической штамповки дан на рис. 185. Это обычный штамп, отличающийся тем, что он целиком размещен в индукционном подогревателе муфельного типа, так что температура заготовок и вставок штампа одинакова. Естественно, что это требует изготовления вставок штампов из жаростойких материалов, способных работать при температуре 900—950° С. Сложность работы на этом штампе (загрузки и разгрузки), а также высокая его стоимость и стоимость эксплуатации являются основными недостатками процесса изотермической штамповки. Однако в указанных выше условиях этот процесс не имеет аналогов и является незаменимым.

9. Штамповка в режиме сверхпластичности

К числу новейших процессов штамповки, только осваиваемых в промышленности, относится процесс получения поковок с использованием состояния сверхпластичности металлов и сплавов. Как известно, состояние сверхпластичности установлено для цветных и железных сплавов, число которых давно «перевалило» за сотню. В большинстве случаев это состояние характеризуется повышенной на один порядок пластичностью при пониженном на порядок сопротивлении деформации. В этом состоянии сплавы находятся при температуре немного выше температуры начала рекристаллизации ($\sim 0,5\text{--}0,6 T_{\text{пл}}$) и должны иметь чрезвычайно мелкозернистую структуру (величина зерна 1—5 мк). В этих условиях и проявляется сверхпластичность при определенной скорости деформации, которая чаще всего не велика, но может быть и значительной. Например, для эвтектидного сплава Zn—Al пневмостатическая формовка листовой заготовки совершается с хлопком при ее ударе о дно матрицы. Относительно большие скорости были получены при деформации стали ШХ15. Однако для регулирования скорости сверхпластической деформации данных пока еще недостаточно. Это и является главным препятствием для широкого применения

в промышленности штамповки в режиме сверхпластической деформации.

Для штамповки в описываемом режиме металл нужно предварительно подготовить. Сплавы, подверженные аллотропии с соответствующей перекристаллизацией, могут переходить в состояние сверхпластичности при фазовом превращении. Например, для сплавов на железной основе состояние сверхпластичности обнаруживается при переходе α в γ или при обратном переходе γ в α . Один из способов подготовки металлов независимо от их фазовой характеристики состоит в предварительном измельчении зеренной структуры, причем, чем мельче удастся получить зерно (от 5 мкм и мельче), тем выше показатели сверхпластичности. Возможно, что фазовые превращения нужны как средство измельчения зерна при перекристаллизации. Установлено, что механизм сверхпластической деформации близок к вязкому, межзеренному, без существенного внутризеренного скольжения, а следовательно, и без наклепа и других изменений, связанных с дислокационным механизмом обычной пластической деформации кристаллитных тел¹.

Огромные деформации в условиях отсутствия упрочнения позволяют осуществлять многопереходные процессы за один переход, а для сплавов, трудно воспринимающих сдвиговую или нормальную деформацию, сверхпластичность обеспечит необходимую обрабатываемость давлением. Низкие сопротивления деформации позволяют отказаться от традиционного оборудования для штамповки — молотов, прессов и т. п. машин. Освоена и внедрена в промышленность пневмоштамповка листовых заготовок, например, толщиной 3 мм из сплава Zn—Al, которые деформируются в сферическую деталь давлением воздуха в сети, равным 3 ат.

В числе процессов, освоенных в первую очередь, — бесконтактные процессы — пневмоформовка, формообразование растяжением, электровысадка и некоторые другие. При пневмоформовке листовую заготовку с подготовленной структурой помещают на полую матрицу любой сложности, герметизируют относительно системы, подающей сжатый воздух, и после нагревания подвергают одноразовой деформации. Растяжением с местным нагревом прутковой заготовки получают периодический сложный профиль и т. д.

Особое поведение металла в состоянии сверхпластичности во многом отличается от привычно воспринимаемого. Например, состояние сверхпластичности делает безопасной деформацию в присутствии концентраторов напряжений. Винт с резко очерченной резьбой свободно растягивался на 1000—1500%, не имея признаков разрушения. Неравномерность нормальной сдвиговой

¹ Термин «сверхпластичность» введен А. А. Бочваром (в 1946 г.), которому принадлежит также авторство в открытии и самого явления. Этот термин признан во всех странах, где изучают сверхпластичность, и по этой причине изменять название этого состояния на сверхтекучесть или сверхвязкость, как иногда предлагают, не имеет смысла.

деформации и ее градиент могут быть сколько угодно большими, однако это не отражается отрицательно на качестве металла. Любопытно, что правила кратчайшей нормали и наименьшего периметра соблюдаются для сверхпластичных материалов только отчасти. Установлено важное для практики обстоятельство, состоящее в том, что после сколько угодно большой деформации металл подвергается обычной термической обработке и его свойства не отличаются от свойств металла, который подвергается обычной деформации и той же термической обработке.

Поиск наиболее сверхпластичных материалов среди стандартных сплавов не является единственным и лучшим способом их отыскания. Задача исследователей и технологов — создавать необходимые новые сплавы, удовлетворяющие в достаточной степени требованиям конструкторов машин и технологов-обработчиков давлением.

На рис. 186 представлены простейшие схемы штампов для объемной штамповки металлов в состоянии сверхпластичности. В них штампуют следующим образом (рис. 186, а). Заготовку 1 (в данном случае кольцеобразную, нагретую выше температуры фазового превращения, помещают в матрицу 2, изготовленную из магнитного материала. В матрице расположены две коаксиальные обмотки 3 и 4, которые совместно с заготовкой образуют подобие трансформатора. При прохождении тока по первичной обмотке 3 во вторичной обмотке 4 индуцируется ток, величина которого пропорциональна магнитной проницаемости материала заготовки.

В момент фазового превращения стальная заготовка (при охлаждении) переходит из парамагнитного в ферромагнитное состояние, в результате чего резко изменяется магнитная проницаемость материала заготовки и соответственно ток во вторичной обмотке 4. После прохождения тока через усилитель 5 сигнал подается на обмотку электромагнитного реле 6 в системе включения прессы и пуансон 7 осуществляет деформацию. На рис. 186, б приведена схема видоизмененного штампа с матрицей 2, в которую помещают

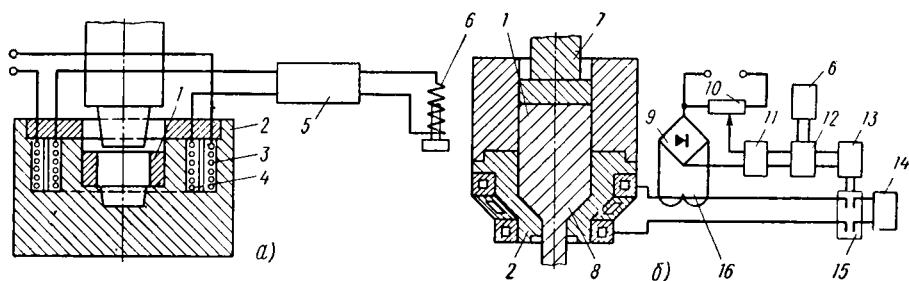


Рис. 186. Схемы штампов для штамповки металлов в состоянии сверхпластичности;

а — с встроенным в блок штампа магнитометром; б — с вынесенным магнитометром за пределы штампа (МИСиС)

деформируемую заготовку 1. Обмотка 8 переменного тока соединена через контактор 15 с источником переменного тока 14. Схема включает в себя трансформатор 16, связанный с обмоткой 8 и диагональю выпрямительного моста 9.

Вторая диагональ моста соединена через компенсатор 10, усилитель 11 и анализатор 12 с реле времени 13 и с электромагнитным реле 6 в системе управления прессом. Реле времени 13 связано также с контактором 15 в цепи питания обмотки переменным током. При достижении температур фазового превращения резко изменяется магнитная проницаемость заготовки, что уменьшает ток обмотки и пропорционально уменьшает напряжение на обмотке трансформатора. Выпрямленное напряжение трансформатора сравнивается с эталоном напряжений компенсатора, в результате образуется сигнал начала фазового превращения, который усиливается и подается на анализатор в виде порогового устройства по схеме триггера. Штамповка происходит в начале при остывании заготовки, чему способствует водоохлаждение обмотки. По истечении времени обратного фазового превращения реле времени включает контактор, на обмотку поступает напряжение и деформация продолжается, но уже в процессе нагрева при прямом фазовом превращении. Процесс продолжается до полного формоизменения заготовки. Такая схема удобна при выдавливании поковок, когда для деформации нужен относительно большой рабочий ход деформирующего инструмента.

10. Штамповка металла в период кристаллизации

Наибольшей простотой отличается штамповка металла в период кристаллизации или, как ее обычно называют, штамповка жидкого металла.

Этот процесс занимает промежуточное положение между обычной штамповкой и литьем под давлением. Наличие прессового оборудования, принудительного перемещения металла с помощью штампов и процесса рекристаллизации металла дает возможность рассматривать этот процесс как разновидность горячей штамповки. Отличие штамповки жидкого металла от обычной штамповки заключается в том, что деформируемый металл затвердевает и приобретает кристаллическое строение в процессе штамповки. Схема процесса типична для штамповки в закрытом штампе.

К преимуществам штамповки жидкого металла относятся отсутствие предварительной обработки исходного металла (ковки, предварительной штамповки); небольшие удельные усилия и работа деформации; возможность получения глубоких полостей малого диаметра и тонких ребер; высокий коэффициент использования металла; возможность получения очень крупных изделий. Перечисленное обеспечивает высокую экономичность процесса.

К недостаткам процесса штамповки жидкой стали по сравнению с горячей штамповкой стальных заготовок следует отнести быст-

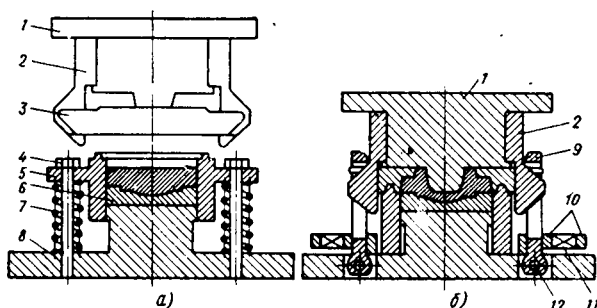


Рис. 187. Схема штамповки жидкой стали в период кристаллизации:

а — момент заливки металла; *б* — момент штамповки; 1 — пуансон; 2 — рычаги со скосами; 3 — съемник; 4 — болты; 5 — обойма металлоприемника; 6 — матричная вставка; 7 — пружина; 8 — корпус штампа; 9 — тяги; 10 — планки; 11 — пружины; 12 — валик тяг

рый выход из строя штампов; возможность сваривания штампуемой стали со штампом (при продолжительных выдержках процесса штамповки); быстрое остывание металла при получении изделий небольшого размера, что превращает процесс в горячую штамповку литой заготовки; сложность точной дозировки объема и более низкое качество по сравнению с изделиями, имеющими волокнистое строение металла.

Область применения этого процесса для стальных изделий еще окончательно не определена. Микроструктура деталей, изготовленных штамповкой жидкого металла, мелкозернистая, характеризуется отсутствием пороков, газовых пузырей и усадочных раковин.

Выход годного составляет около 98%. Следовательно, с точки зрения технической рациональности описываемый процесс является одним из наиболее эффективных. Возможность запрессовки в металл различной арматуры (металлической и неметаллической) является также преимуществом, расширяющим область применения штамповки жидкого металла.

На рис. 187 дана схема штамповки жидкого металла в штампе конструкции, описанной в гл. VI (см. рис. 305). Штамп обеспечивает герметичность полости и автоматическое удаление поковки из рабочей полости.

Упомянутая выше штамповка литых фасонных заготовок уступает жидкой штамповке, так как при этом требуется предварительная отливка заготовок, пригодных для штамповки в чистовом или хотя бы предварительно в черновом ручье. При штамповке литых заготовок отпадает необходимость в прокатке и разрезке прутков.

Недостатки штамповки литых заготовок заключаются в более низких динамических и пластических свойствах металла поковки

вследствие небольшой степени деформации при штамповке литых фасонных заготовок.

При большой степени деформации преимущества штамповки литых заготовок уменьшаются, так как при этом их форма значительно отличается от формы поковки. Штамповка литых заготовок может получить распространение при изготовлении деталей машин, работающих при сравнительно небольших нагрузках. Штамповка литых заготовок, разработанная В. М. Аристовым и Н. И. Корнеевым, широкого распространения пока не получила.

Ниже приведена классификация разновидностей объемной штамповки.

I — по способу изготовления заготовок (штучных, спаренных, многоштучных, простого профиля и фасонированных): кованных, катаных (простого, фасонного и периодического профилей), литых.

II — по типу исходных заготовок: мерных, от прутка (без предварительной разделки).

III — по направлению действующих сил: продольная (торцовая), поперечная (перпендикулярная к оси заготовки) штамповка.

IV — по типу основного инструмента: в открытых штампах при $V_{\text{заг}} > V_{\text{пок}}$; в закрытых штампах (без компенсатора при $V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}}$) и с компенсатором при $V_{\text{заг}} > V_{\text{пок}}$; выдавливанием в сквозную полость при $V_{\text{заг}} \geq V_{\text{пок}}$ (свободным и с противодавлением на выдавливаемый элемент поковки).

V — по числу и взаиморасположению плоскостей разреза штампов: в штампах с одной плоскостью разреза; в штампах с двумя плоскостями разреза (при перпендикулярном и параллельном разрезах); в многоразъемных штампах.

VI — по характеру воздействия инструмента на заготовку: с выдавливанием металла в глухие или сквозные полости; с вдавливанием элемента инструмента (пуансона или знака) в заготовку; с комбинированным воздействием инструмента.

VII — по скоростным условиям: давлением (пресса, среды); ударом (обычных молотов, высокоскоростных молотов); импульсным воздействием (взрывной волны, магнитного поля, током короткого замыкания и т. п.).

VIII — по термоскоростным условиям: горячая, подобная горячей, подобная холодной и холодная штамповка.

IX — по тепловому режиму: в период остывания нагретого металла; изотермическая; в период затвердевания жидкого металла.

X — по типу применяемого оборудования: на молотах (простого, двойного действия — паровоздушных, бесшаботных, высокоскоростных); на прессах (горячештамповочных кривошипных, винтовых фрикционных, гидравлических, гидровинтовых); на горизонтально-ковочных машинах (с вертикальным и горизонтальным разрезом матриц); на специализированном оборудовании и установках (на горизонтально-гибочных кривошипных машинах, ротационно-обжимных и радиально-обжимных машинах, электровысадочных машинах, высадочных автоматах, вальцах, раскаточных машинах, электровысадочных установках и т. п.).

Разновидность штамповки выбирают исходя из химического состава исходного металла, конфигурации детали, технико-экономических расчетов с учетом серийности производства, преимуществ и недостатков каждого из намечаемых вариантов штамповки данной поковки.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

(средне- и крупносерийное
производство стальных поковок)

1. Штамповка на молотах

В действующих кузнечно-штамповочных цехах со среднесерийным производством штамповка на паровоздушных молотах занимает ведущее место по числу выпускаемых поковок; парк молотов в общем числе штамповочного оборудования пока наибольший.

Для преобладающего до недавнего времени среднесерийного производства поковок наибольшее применение получили молоты благодаря своей универсальности и простоте в эксплуатации. Для стальных поковок, штампуемых на паровоздушных молотах с массой падающих частей 15—25 т*, до сих пор не используют другого оборудования, так как кривошипные прессы усилием свыше 120 МН пока не строят, гидровинтовые прессы только осваивают, а мощные быстроходные гидравлические прессы для многоручьевого штамповки, выполняемой с одного нагрева, находятся в стадии разработки.

Из числа известных конструкций молотов для горячей штамповки поковок используют паровоздушные молоты двойного действия (с массой падающих частей до 25 т), бесшаботные молоты (с энергией удара до 1,47 МДж) и частично молоты простого действия (с доской, тонким штоком и др.).

При выборе оборудования для вновь проектируемых цехов используют технико-экономические расчеты, причем основным критерием является экономическая эффективность производства. Поэтому для цехов крупносерийного и массового производства поковок небольших и средних масс немодернизированные молоты с их низким к. п. д., непригодностью к условиям высокомеханизированного и автоматизированного производства и низкой долговечностью некоторых деталей (штоков и др.) не могут быть рекомендованы. Однако молотовые установки постепенно совершенствуются и в сотнях работающих цехов находят широкое при-

* Общепризнанным эквивалентным соотношением между массой падающих частей молотов двойного действия в т и усилием кривошипных горячештамповочных прессов в МН является 1 : 10.

менение для горячей штамповки в открытых и закрытых штампах при большой номенклатуре поковок. Разработаны и успешно применены виброизоляция молотов (подвесные амортизирующие фундаменты), детали и узлы с повышенной динамической прочностью, надежностью (новые конструкции штоков и их соединения с бабой, двухклиновое крепление штампов и др.), усовершенствованная система управления молотами (сервопривод механизма управления), пневматические устройства для забивки клиньев и многое другое. К недостаткам молотов обычно относят их неполную загрузку на подготовительных операциях многоручьевого штамповки, когда они расходуют едва $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ своей мощности, хотя и с увеличенным числом ходов в единицу времени. Однако эксцентричное расположение ручьев молотового штампа не позволяет работать иначе из-за резкого ухудшения условий эксплуатации молотов. Использование для фасонирования заготовок ковочных вальцев или станов периодического профилирования заготовок одинаково эффективно для молотов и прессов. Это же относится и к точной дозировке заготовок, к электронагреву, скоростному и безокислительному нагреву металла, которые позволяют повысить точность штамповки поковок на молотах и коэффициент использования металла.

К достоинству молотов относится возможность деформировать заготовки быстро и многократно в каждом ручье, что обеспечивает большие суммарные деформации. Многократные обжатия с промежуточной рекристаллизацией металла позволяют осуществлять чрезвычайно энергоемкие операции.

Перспективность бесшаботных молотов не вызывает сомнений. Скоростные молоты, развивающие скорости в момент соприкосновения штампа с металлом до 30 м/с, являются перспективным штамповочным оборудованием нового типа.

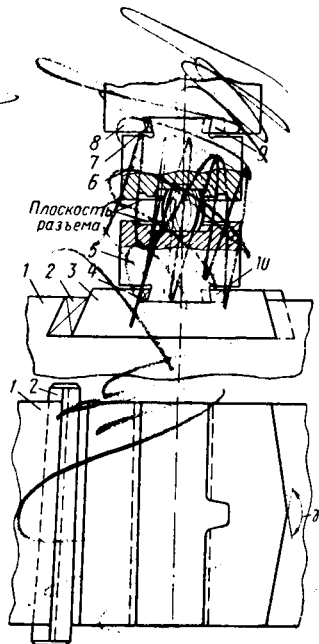
Таким образом, наличие большого парка молотов на заводах и отмеченные достоинства позволяет их считать в среднесерийном производстве поковок жизнеспособными наряду с другими кузнечно-штамповочными машинами.

Отдельные зарубежные фирмы специализируются на изготовлении модернизированных типов молотов. Для повышения долговечности и улучшения условий работы молотов применяют цельнокованные узлы — толстые штоки вместе с бабой и поршнем. Для получения поковок с жесткими допусками изготавливают молоты, шабот и стойки которых являются общей отливкой. Существенное новшество — работа молотов с использованием гидравлики вместо пара или воздуха. Такие молоты работают от индивидуального электропривода. Снижение стоимости потребляемой энергии, а также отсутствие громоздких котельных или общецеховых компрессорных установок делают эти молоты более эффективным оборудованием по сравнению с прежними.

Рассмотрим конструктивное оформление молотовых штампов и технологию различных разновидностей горячей штамповки.

Рис. 188. Устройство молотового штампа:

1 — шабот молота; 2 — клин подушки; 3 — подштамповая плита; 4, 7 — нижний и верхний клинья; 5, 6 — нижняя и верхняя части штампов; 8 — баба молота; 9, 10 — верхняя и нижняя шпонки



Молотовый штамп (рис. 188) состоит из двух массивных блоков 5 и 6 с опорами-выступами для клиновидного крепления. Верхнюю часть штампа крепят на бабе 8 молота клином 7. Шпонка 9 частично входит в паз выступа штампа, а частично в паз бабы. Шпонка 9 работает на срез, предотвращая смещение верхней части штампа. Аналогично закрепляют нижнюю часть штампа к подштамповой плите 3 клином 4 и шпонкой 10. Подштамповую плиту крепят в шаботе 1 молота с одной стороны клином 2, с другой — угловым соединением (угол γ), которое аналогично соединению шпонкой и предотвращает смещение штампа вдоль клина. Эта конструкция штампа гостирована (ГОСТ 6039—71).

На практике применяют несколько разновидностей штамповки на молотах: в открытых и закрытых штампах, одноручьевую и многоручьевую штамповку заготовок простого профиля и фасонных. На рис. 188 показан одноручьевой открытый штамп в момент начала продольной (торцевой) штамповки мерной заготовки простого профиля.

Для повышения производительности и упрощения конфигурации поковок кроме штамповки по одной поковке применяют штамповку по две, три и более поковок. На молотах возможна штамповка от прутка с отделением поковок ножами в том же штампе. По расположению заготовок возможна штамповка в торец (продольная) и поперек оси заготовок (поперечная). Для фасонирования заготовок на молотах при многоручьевой штамповке применяют несколько типов подготовительных ручьев, расположенных в общем штампе с окончательным ручьем. Это обеспечивает непрерывность технологического процесса, но не является оптимальным вариантом штамповки, так как при выполнении подготовительных операций, как уже отмечалось, молот работает с неполной мощностью. Наиболее рациональна для молотов одноручьевая и двухручевая продольная штамповка заготовок простой формы или поперечная штамповка с предварительным фасонированием заготовок специализированными методами: вальцовкой, прокаткой и т. п. Однако в промышленности широко применяют и многоручьевую штамповку на молотах, особенно при невысокой серийности производства поковок.

Энергия, расходуемая молотами на деформацию, представляет собой кинетическую энергию падающих масс: бабы, штока с поршнем и верхней части штампа. По этой причине, а также вследствие того, что материал штампов подвержен ударному воздействию, штампы должны быть массивными. Конец штамповки на молотах фиксируется моментом соприкосновения верхней и нижней частей штампа. При работе на молотах штамповка обычно происходит в каждом ручье за небольшое число ударов (1—4). Большое число ударов молота (10—20) необходимо в окончательном ручье при штамповке только очень крупных поковок, хотя производительность молота при этом сравнительно невелика. На молотах штампуют поковки массой 0,1—1000 кг, но чаще 0,25—400 кг. Рассмотрение штампов целесообразно начать с элементов окончательного ручья, из которого выходит готовая поковка.

Канавка для заусенца. Размеры и форма канавок зависят от размеров и конфигурации поковок, а также от объема и формы заготовок, поступающих в ручей. Канавка, геометрически правильно построенная (верхняя на рис. 189), имеет узкий выход из полости штампа и расширяется в сторону магазина, служащего для размещения вытесняемого в него металла. Для последующей обрезки важно, чтобы сопряжение поковки с заусенцем было выполнено как можно меньшим радиусом r закругления. Однако при небольшом радиусе закругления в месте перехода от поковки к заусенцу раскаленный металл нагревает острый порог штампа, и он деформируется, выводя последний из строя. Основное преимущество расширяющейся канавки заключается в возможности отслоения заусенца от поверхности магазина на последней стадии штамповки при уже заполненном ручье штампа. Эта рациональная форма канавки внедрена в производство (Охрименко Я. М., Ненашев А. В. Штамп для открытой объемной штамповки. Авторское свидетельство № 365197. Бюллетень «Открытия, изобретения промышленные образцы и товарные знаки», 1973, № 6).

На практике применяют более простые в изготовлении формы канавок с увеличенным порогом 1 и магазином 2 (тип I). Если ширина b порога канавки недостаточна, то порог деформируется и штамп выходит из строя. Очень большая ширина порога приводит к повышенному расходу энергии на штамповку вследствие большого сопротивления образованию заусенца и его деформации. Нижняя часть штампа находится в соприкосновении с нагретым металлом более продолжительное время, чем верхняя, поэтому площадку нижнего порога иногда выполняют большей ширины (тип II). Такие канавки применяют при большом объеме заусенца, т. е. при изготовлении крупных поковок или поковок сложных конфигураций; их называют канавками с двусторонним порогом (симметричная — тип I и несимметричная — тип II).

При обычных условиях штамповки наибольшее распространение получили канавки типа III, имеющие выступающий порог только на верхней части штампа и называемые канавками с одно-

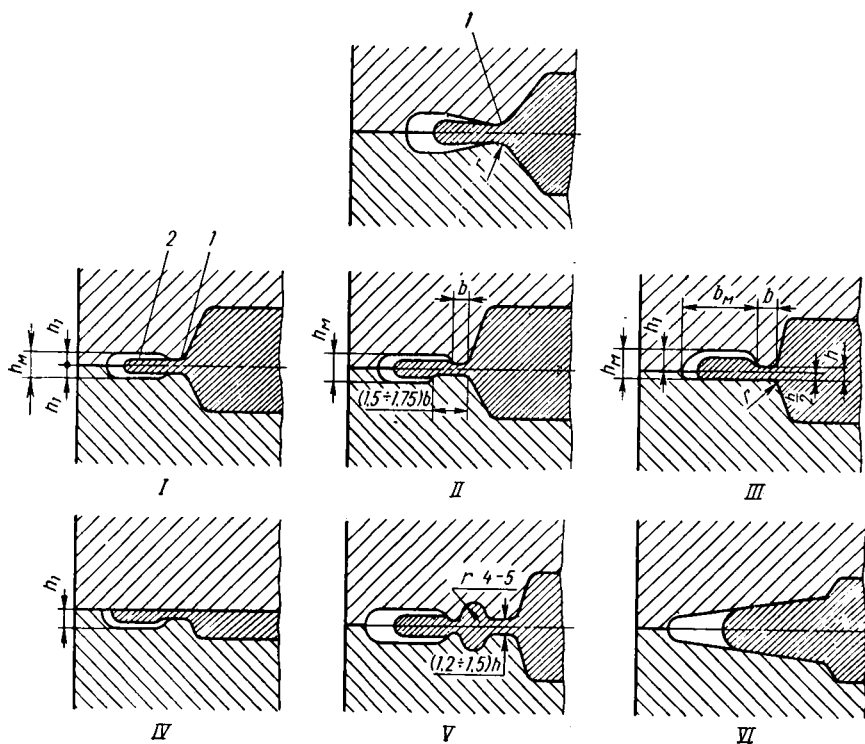


Рис. 189. Формы канавок для заусенцев у молотовых штампов;

1 — мостик; 2 — магазинная часть заусенца; r — радиус перехода от поковки к заусенцу; b — ширина мостика; h — толщина заусенца по мостику

сторонним верхним порогом. Нижняя часть штампа, на которой находится нагретый штампуемый металл, не имеет выступа в виде порога.

Для несложных и небольшой высоты поковок, легко размещающихся в одной половине штампа, применяют канавку с односторонним нижним порогом (тип IV). При такой канавке не требуется точного совпадения штампов и гравировки верхней плоской части штампа, что снижает стоимость его изготовления; однако обрезка заусенца, расположенного у торца поковки, сопряжена с определенными трудностями (см. рис. 299). Указанные канавки применяют при обрезке заусенца с поворотом поковки на 180° . Канавки типа V используют на части контура поковки для местного повышения сопротивления течению металла в канавку, которая обеспечивает заполнение металлом сложной полости штампа. Для этой же цели применяют канавку типа VI без магазина, но с наклонными порогами. Сужающаяся полость канавки затрудняет радиальное перемещение в ней металла. Этот тип канавки

Размеры канавок для заусенцев

Порядковый номер канавки	Размеры канавки по высоте		Радиус r при глубине ручья			При штамповке								
						осаживанием			выдавливанием в неглубокую полость			выдавливанием в глубокую полость		
	h	h_n	до 20	20—40	Свыше 40	b	b_m	S_k	b	b_m	S_k	b	b_m	S_k
1	0,6	3	1	1,0	1,5	6	18	52	6	20	61	8	22	74
2	0,8	3	1	1,5	1,5	6	20	69	7	22	77	9	25	84
3	1	3	1	1,5	2,0	7	22	80	8	25	91	10	28	104
4	1,6	3,5	1	1,5	2,0	8	22	102	9	25	113	11	30	155
5	2	4	1,5	2,0	2,5	9	25	136	10	28	153	12	32	177
6	3	5	1,5	2,0	2,5	10	28	201	12	32	233	14	38	278
7	4	6	2	2,5	3,0	11	30	268	14	38	344	16	42	385
8	5	7	2	2,5	3,0	12	32	343	15	40	434	18	46	506
9	6	8	2,5	3,0	3,5	13	35	435	16	42	530	20	50	642
10	8	10	3	3,5	4,0	14	38	601	18	46	745	22	55	903
11	10	12	3	3,5	4,0	15	40	768	20	50	988	25	60	1208

эффективен в технологическом отношении, но приводит к повышенному расходу энергии, так как деформирование металла в ней происходит в трудных условиях (тонкий слой остывшего металла), при этом усложняется обрезка заусенца.

Поскольку заусенец представляет собой отход металла, то при разработке технологии объем его должен быть принят как можно меньшим. Но при штамповке нужно стремиться к тому, чтобы весь избыточный металл был вытеснен, т. е. чтобы заусенец был максимальным для каждой штампуемой заготовки. Это позволяет избежать увеличения объема механической обработки поковок.

Аналитические методы расчета размеров канавок до сих пор не разработаны. На практике канавки рассчитывают несколькими способами, сопоставляя их размеры либо с размерами поковок, либо с массой падающих частей молота, на котором их штампуют. А. В. Ребельский на основании обобщения производственного опыта предложил рассчитывать канавки исходя из условий создания необходимого в различных случаях сопротивления металлу, вытекающему в канавку. Данные, рекомендуемые для расчета размеров канавок в молотовых штампах, приведены в табл. 31 (линейные размеры h_n ; h ; r ; b и b_m даны в мм, а площадь сечения канавки S_k в мм² — см. рис. 189).

Чем больше размеры поковок, тем больше должна быть масса падающих частей молота, на котором их штампуют, и тем больше должны быть размеры канавок. Для одной и той же поковки с уменьшением массы падающих частей молота толщина и ширина заусенца увеличиваются.

Как видно из табл. 31, размеры канавок типа III зависят от глубины ручьев и характера деформаций при заполнении штампа.

Толщина мостика заусенца

$$h = c \sqrt{F_{\pi}}, \quad (69)$$

где F_{π} — площадь проекции поковки в плоскости разъема штампа, мм²; c — безразмерный коэффициент, равный 0,013—0,016 (чем больше габаритные размеры поковок, тем меньше коэффициент c).

По найденному размеру h выбирают канавку в табл. 31 с учетом преобладающей деформации при заполнении ручья штампа металлом.

Площадь поперечного сечения заусенца

$$S_z = 2\psi S_k, \quad (70)$$

где ψ — коэффициент, учитывающий степень заполнения канавки и зависящий от формы поковки (или ее элемента): $\psi = 0,3$ для простых форм, $\psi = 0,5$ для форм средней сложности и $\psi = 0,7$ для сложных форм.

Площадь S_k (табл. 31) соответствует канавкам типа III по рис. 189. Объем заусенца V_z можно определять как произведение средней площади сечения заусенца ψS_k на длину линии l_{π} , проходящей через центры тяжести поперечных сечений заусенца, т. е.

$$V_z = \psi S_k l_{\pi}. \quad (71)$$

Неравномерность образования заусенца можно уменьшить изменением размеров канавки по периметру поковки. По конструктивным соображениям наличие в одном штампе переменной толщины h заусенца нецелесообразно. Истечение металла в канавку по периметру сложной полости штампа проще выравнивать, используя канавки с неодинаковой по периметру шириной порога b .

На тех участках периметра поковки, где находятся труднозаполняемые места полости штампа, ширину порога b увеличивают для улучшения условий заполнения ручья.

Если все-таки неравномерность образования заусенца неизбежна, то во избежание переполнения металлом отдельных мест канавки и попадания его на плоскость сопряжения частей штампа применяют канавки с переменной шириной магазина b_m .

Разъем штампов. Разъем у открытых штампов необходим для складывания заготовки в ручей, извлечения из него поковки и размещения в плоскости разъема канавки для заусенца.

Положение плоскости разъема штампа определяется различными факторами и в первую очередь формой поковки исходя из свободного выхода ее из полости. Рассмотрим, какие положения плоскости разъема возможны для поковок различных геометрических форм (рис. 190).

Ш а р. В этом случае (рис. 190, а) плоскость разъема 1—1 может проходить только через диаметрально сечение фигуры. Сечение плоскости разъема, например в положение 2—2

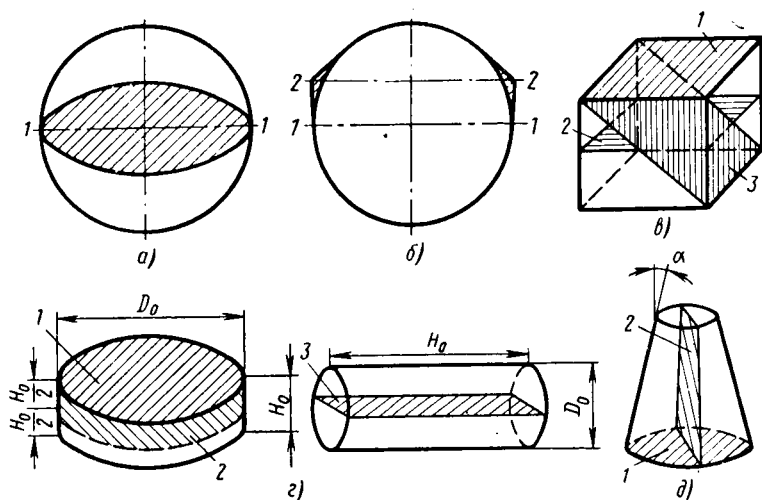


Рис. 190. Возможные положения плоскостей разреза штампов для простых геометрических фигур

(рис. 190, б), приведет к напускам и потере металла. Форма поковки при этом исказится. При штамповке эллипсоида возможны два варианта плоскости разреза штампов: по большому и малому диаметральному сечениям.

К у б. Для него возможны три положения плоскости разреза штампов (рис. 190, в): разъем 1 требует напусков от штамповочных уклонов по четырем боковым граням; разъем 2 столько же, хотя потери металла в напуски здесь меньше. Самым целесообразным является разъем 3, при котором по двум плоскостям в каждой части штампа имеются естественные откосы. Напуски от штамповочных уклонов здесь небольшие и предусмотрены только на двух гранях. Периметр и объем заусенца при этом немного больше, однако получаемая экономия металла в напусках компенсирует потери, связанные с увеличением заусенца.

Ц и л и н д р. Возможны три варианта разреза (рис. 190, г). Вариант 1 имеет те же недостатки, что и в случае с кубом (большие потери металла от штамповочных уклонов). Обрезка заусенца у торца поковки усложнена. В зависимости от соотношения высоты H_0 и диаметра D_0 выбирают варианты разреза 1—3 штампов. Для цилиндров большой длины целесообразнее применять вариант 3, при котором заготовку штампуют поперек оси, так как напуски от штамповочных уклонов здесь будут только у торцов; для цилиндров небольшой длины, которые штампуют в торец, — вариант 2.

У с е ч е н н ы й к о н у с. Возможны два варианта разреза (рис. 190, д). Вариант 1 используют, когда величина угла конуса α достаточна для извлечения поковки из ручья без приложения зна-

чительных усилий, однако при этом должен быть использован обрезной штамп с направляющими колонками и с двумя режущими кромками рабочего инструмента. Поковки большой длины обычно штампуют по варианту 2 с напусками от штамповочных уклонов только на торцах. Штамповка сопровождается появлением горизонтальных сил; при этом используют обрезной инструмент с одной режущей кромкой.

Реальные поковки можно рассматривать как сложные геометрические фигуры, состоящие из элементарных фигур. Если плоскость разреза штампов выбирают по максимальным габаритным размерам поковки, то полости штампов получаются неглубокими, облегчается их заполнение, но увеличиваются периметр и объем заусенца, а также площадь зеркала штампа, занятая ручьями.

Рассмотрим примеры. Требуется изготовить деталь типа шкива, втулки, шестерни и т. п. (рис. 191, а). Выбирая разные плоскости разреза штампов, получим поковки различной формы (рис. 191, б и в). При положении разреза, показанном на рис. 191, б, применяют продольную штамповку. Разъем, соответствующий рис. 191, в, отвечает поперечной штамповке. Расположение и величина напусков зависят от соотношения размеров элементов поковки. При продольной штамповке (рис. 191, б) удастся сделать наметку отверстия, что обычно дает значительную экономию металла и упрощает механическую обработку поковки; заготовка при этом может иметь простую цилиндрическую форму. При поперечной штамповке (рис. 191, в) должна быть использована фасонная заготовка. Следовательно, при соотношении размеров детали $H_d \leq D_d$ более целесообразна продольная (торцовая) штамповка (рис. 191, б).

Если речь идет о поковке шестерни, то при любых соотношениях ее размеров предпочтительнее торцовая штамповка. В этом случае макроструктура поковки получится одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечит высокую их прочность. При поперечной штамповке часть зубьев шестерни ослаблена из-за невыгодного расположения в них волокна.

Достоинства варианта штамповки, показанного на рис. 191, в, заключаются в отсутствии напусков от штамповочных уклонов

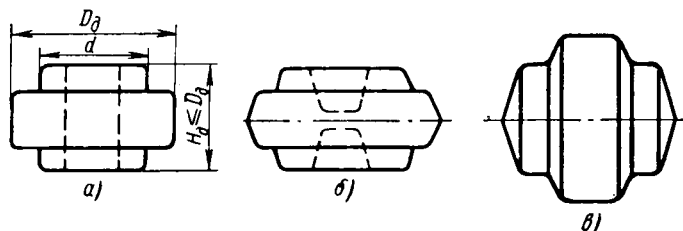
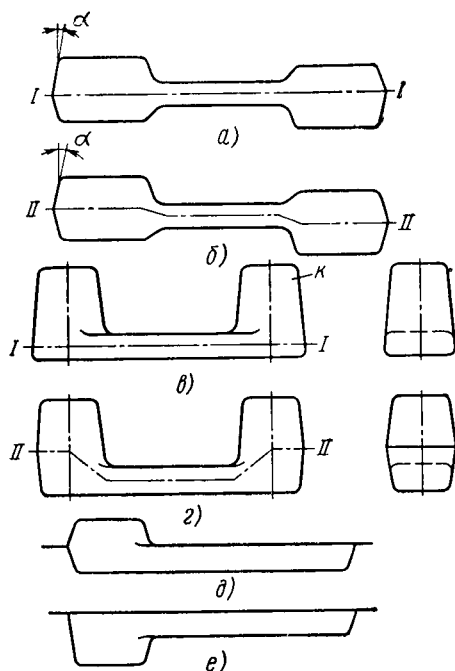


Рис. 191. Возможные положения плоскости разреза открытых штампов для поковки типа тела вращения (например, шестерни)

Рис. 192. Разъем штампов для длинных поковок:

I—I — прямая и II—II — ломаная линии разреза штампа



на боковые поверхности цилиндрических элементов поковки (используют естественные скаты поковки). Чем больше длина поковки ($H_d > D_d$), тем целесообразнее ее штамповать по указанному варианту.

Линия разреза штампов (контур проекции поверхности разреза на перпендикулярную к ней плоскость) может быть прямой или ломаной. Например, при изготовлении поковок рычагов и шатунов разъем может быть выполнен по варианту, указанному на рис. 192, а. Прямая

линия разреза I—I штампов обеспечивает относительно простое их изготовление и хорошие условия обрезки поковки. По расходу металла вариант, представленный на рис. 192, б, более экономичен (при одинаковой величине уклона α), хотя ломаная линия разреза II—II усложняет изготовление штампов и обрезку заусенцев.

Для поковки с бобышками, развитыми в одну сторону по отношению к плоскости разреза, прямая линия разреза (рис. 192, в) приводит не только к повышенному расходу металла, но и к плохому заполнению углов κ глубоких полостей штампа. При ломаной линии разреза штампа (рис. 192, г) углы κ расположены в менее глубоких полостях штампов, что улучшает условия их заполнения.

При штамповке удлиненной поковки простой формы и небольшой ее толщине целесообразно использовать разъем штампа по плоской части поковки. При штамповке по варианту согласно рис. 192, д стоимость изготовления штампа выше, а объем заусенца больше и условия наладки сложнее, чем при расположении ручья только в нижнем штампе (рис. 192, е). Для таких малоответственных деталей, как например, гаечный ключ, простота изготовления штампа (по варианту рис. 192, е) и то обстоятельство, что смещение частей штампа не играет роли, оказываются более важными, чем недостатки при обрезке заусенца, расположенного с краю поковки.

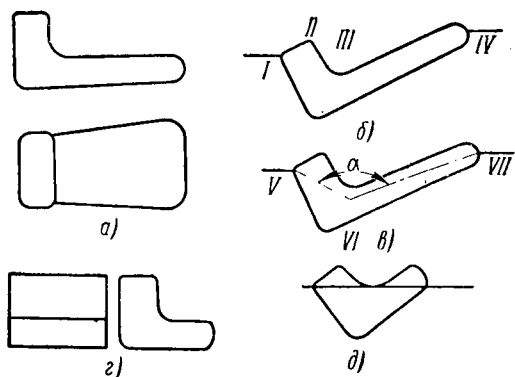


Рис. 193. Разъемы штампов при штамповке Г-образных поковок

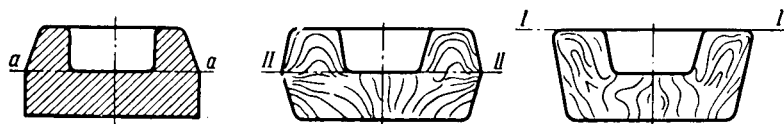


Рис. 194. Выбор положения разъема штампа по условию работы детали

При штамповке поковки Г-образной формы (рис. 193, а) и ломаной линии разъема штампа I—II—III—IV неудобное расположение заусенца для обрезки усложняется тем, что он находится в нескольких плоскостях под прямыми углами (рис. 193, б). Разъем штампов V—VI—VII, установленный под тупым углом α (рис. 193, в), повышает качество обрезки поковок. При небольшой длине поковки (рис. 193, г) ее можно штамповать с прямой линией разъема (рис. 193, д).

В некоторых случаях положение плоскости разъема штампов и соответственно форма поковки определяются заданной макроструктурой. Например, если деталь машины (рис. 194) работает на срез по линии aa , то волокно должно быть перпендикулярно линии среза. Положение линии разъема II—II в данном случае не является удовлетворительным, и поэтому, пренебрегая некоторыми недостатками, связанными с положением разъема I—I, все же следует выбрать этот последний вариант.

На рис. 195 показано влияние положения плоскости разъема штампа относительно оси поковок типа тел вращения на их форму. На рис. 195, а и б сравниваются торцовая продольная и поперечная штамповки. Для поковки с отверстием и коническим корпусом (верхняя на рис. 195) потери металла с напусками от штамповочного уклона (заштриховано густо) небольшие при торцовой и очень большие при поперечной штамповке. Наоборот, для поковки с боковой выемкой и цилиндрическим стержнем эти напуски очень большие при торцовой штамповке.

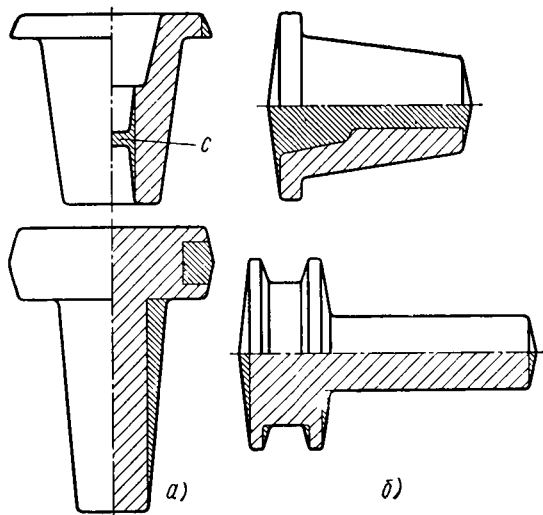


Рис. 195. Два возможных положения поковки в процессе штамповки

В табл. 32 для сравнения даны оба варианта штамповки, более выгодные условия отмечены знаком плюс и менее выгодные — знаком минус.

Для поковки с отверстием целесообразно применять торцовую штамповку, так как удается отформовать полость для отверстия с небольшим отходом в виде перемычки с. Для поковки со стержнем и колесом с ребрами целесообразнее торцовая штамповка. Однако с экономической точки зрения из-за больших потерь ме-

Таблица 32

Сравнение двух вариантов штамповки (к рис. 195)

Сравнительный параметр технологического процесса	Варианты штамповки			
	Поковки с отверстием		Поковки со стержнем	
	Продольная	Поперечная	Продольная	Поперечная
Сложность исходной заготовки . . .	+	—	+	—
Конструкция основного штампа . . .	+	—	+	—
Условия укладки заготовки в штампы	+	—	+	—
Величина отхода в заусенец	+	—	+	—
Конструкция обрезного штампа	+	—	+	—
Условия обрезки поковок	+	—	+	—
Макроструктура (расположение волокон)	+	—	+	—
Величина отхода металла в напуск . . .	+	—	—	+

талла в напуски предпочтительнее поперечная штамповка, несмотря на более сложные штампы, используемые при этом, и другие недостатки указанного варианта штамповки.

Оценка правильности выбора плоскости разъема штампов не исчерпывается данными, перечисленными в табл. 32. В частности, необходимо учитывать условия захвата и базовые поверхности при обработке поковок резанием. При прочих равных условиях более правильный разъем штампа обеспечивает зажим поковки не по конической, а по цилиндрической части.

В большинстве случаев выполнить все перечисленные требования к плоскости разъема не удастся. Поэтому в каждом конкретном случае выделяют некоторое число требований, которые и являются главными. Решение принимают исходя из экономической процесса в целом.

Штамповочные уклоны. Отштампованная поковка удерживается в полости штампа силами трения, которые она преодолевает при извлечении из ручья. Для предотвращения застревания поковок в ручьях боковые стенки полости штампов выполняют с уклонами (штамповочные уклоны), при этом поковка получается с напуском. При отсутствии штамповочного уклона поковку, которая теперь не имеет напуска, удаляют с преодолением сил трения на относительно большом пути. При наличии штамповочных уклонов поковка отрывается от стенок штампа в результате ничтожно малого ее перемещения. На практике применяют штамповочные уклоны $1-10^\circ$. Если на молоте имеется выталкивающее устройство, то уклоны не превышают $1-3^\circ$. Наиболее распространенный уклон в отсутствии выталкивателя $5-7^\circ$.

Влияние площади контакта для различных форм поковок на силу выталкивания их из штампа неодинаково. Чем относительно глубже полость штампа, тем больше должен быть штамповочный уклон для свободного удаления поковок из ручья. Это можно объяснить повышением нормальных напряжений при штамповке в более глубокой полости штампа. Если заполнение какой-нибудь части ручья сопровождается выдавливанием металла, то штамповочный уклон должен быть больше, чем при штамповке с осадкой, при которой металл поступает в ручей до начала штамповки.

Для ряда геометрически подобных поковок штамповочный уклон уменьшается при переходе от мелких к крупным изделиям. Это объясняется тем, что упругая отдача после ударов, способствующая отрыву поковки от штампа, более значительна у крупных поковок, штампуемых ударами большей энергии. Кроме того, поверхность трения, приходящаяся на единицу объема у мелких поковок, больше, чем у крупных.

С увеличением температуры конца штамповки удельное усилие снижается, а сила трения уменьшается непропорционально вследствие увеличивающейся при этом способности штампуемого металла прилипать к штампу. Смазка, применяющаяся для штам-

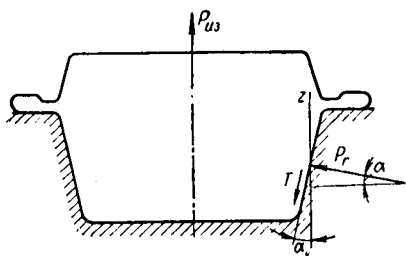


Рис. 196. Схема действующих сил при удалении поковки из ручья

пов, влияет на обе составляющие сил трения: уменьшаются коэффициент трения и нормальные напряжения.

Рассмотрим схему действия сил при удалении поковки из ручья (рис. 196). Проектируя действующие силы на вертикальную ось $z - z$, находим

$$P_{из} = T \cos \alpha - P_r \sin \alpha, \quad (72)$$

где $P_{из}$ — сила извлечения поковки из ручья; T — сила трения, равная μP_r ; P_r — сила, действующая со стороны упругодеформированного штампа на поковку; α — штамповочный уклон.

При упрощении полученного выражения находим

$$P_{из} = P_r (\mu \cos \alpha - \sin \alpha). \quad (72')$$

При данной величине угла наклона α сила $P_{из}$, необходимая для извлечения поковки из ручья, зависит от коэффициента трения, с уменьшением которого уменьшается и усилие штамповки, а следовательно, и величина P_r .

Двучлен в скобках, равный $\frac{P_{из}}{P_r}$, характеризует условия освобождения поковки из ручья; при $\frac{P_{из}}{P_r} \leq 0$ поковка освобождается естественно.

Для наглядности в табл. 33 приведены расчетные данные относительно уменьшения величины $\frac{P_{из}}{P_r}$ по мере увеличения уклона и уменьшения коэффициента трения (при условии, что $\mu = 0,5 \div 0,05$).

Таблица 33

Зависимость относительного усилия извлечения $\frac{P_{из}}{P_r}$ поковки из ручья от величин α и μ

Коэффициент трения μ	Угол штамповочного уклона α°					
	0	1	3	5	7	10
0,5	0,5	0,48	0,44	0,41	0,37	0,31
0,25	0,25	0,23	0,2	0,17	0,13	0,08
0,2	0,2	0,18	0,15	0,11	0,08	0,02
0,1	0,1	0,08	0,05	0,01	—	—
0,05	0,05	0,03	—	—	—	—

При максимальных силах трения ($\mu = 0,5$) даже наибольший применяемый штамповочный уклон ($\alpha = 10^\circ$) приводит к снижению относительного усилия извлечения $\frac{P_{из}}{P_r}$ менее чем в 2 раза (с 0,5 до 0,31). С уменьшением коэффициента трения до 0,2 величина $\frac{P_{из}}{P_r}$ становится незначительной уже при $\alpha = 7^\circ$.

При $\mu = 0,1$ естественное освобождение поковки происходит при $5^\circ < \alpha < 7^\circ$, а при $\mu = 0,05$ — $1^\circ < \alpha < 3^\circ$. Приведенные данные относятся к статическим условиям процесса. Динамические условия штамповки облегчают освобождение поковки из ручья.

После совершения удара упругосжатые штамп и подштамповая система с большой скоростью возвращаются в исходное положение. При этом, если полость штампа имеет достаточный уклон и хорошо смазана, то поковка отрывается от штампа и может быть затем свободно удалена. Продукты горения и испарения смазки в полости штампа сжимаются и создают компрессию, что способствует удалению поковки из ручья.

Нижняя часть штампа находится в соприкосновении с металлом более длительное время и разогрета больше верхней. Износ нижней части штампа больше, поэтому состояние ее рабочей поверхности хуже, что вызывает застревание в ней поковки. Для удаления застрявшей поковки из нижней части штампа по поковке наносят дополнительный сильный удар, чтобы добиться естественного ее выбрасывания из ручья. В некоторых случаях поковке дают немного остыть, после усадки металла она свободно удалется из полости. Этот способ нельзя рекомендовать, так как он приводит к уменьшению производительности работы и отпуску штампа. Застревание поковки в верхней полости недопустимо по условиям техники безопасности и из-за образования забоин (брака) поковки при их падении из поднятого штампа. Лучшие условия извлечения поковки из верхней полости создают за счет уменьшения контактной поверхности верхнего штампа соответствующим выбором плоскости разбега или применением штамповочных уклонов в верхнем штампе больших, чем в нижнем.

Для различных металлов штамповочные уклоны неодинаковы. Так, например, для дюралюминия их предусматривают почти вдвое меньшими, чем для стали. Причина этого заключается в меньших силах трения и в меньшей слипаемости дюралюминия со сталью, чем стали со сталью. Для разных сталей принимают обычно одинаковые штамповочные уклоны.

На поковках и в штампах различают внешние и внутренние штамповочные уклоны (рис. 197). Внешние штамповочные уклоны 1 относятся к тем поверхностям, по которым между поковкой и стенкой штампа образуются зазоры вследствие тепловой усадки при остывании металла. Внутренние штамповочные уклоны 2 относятся к тем поверхностям поковки, которые при ее остывании

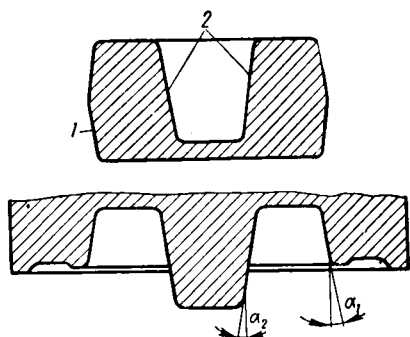


Рис. 197. Наружные и внутренние уклоны на поковке и в штампе

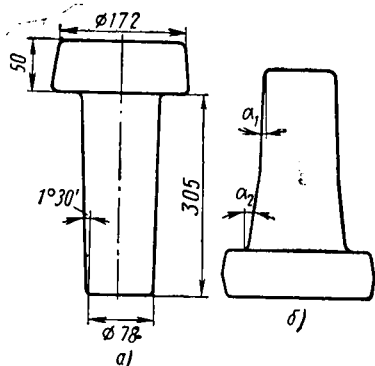


Рис. 198. Штамповочные уклоны

приводят к горячей посадке поковки на выступ штампа. Эти штамповочные уклоны должны быть больше внешних ($\alpha_2 > \alpha_1$).

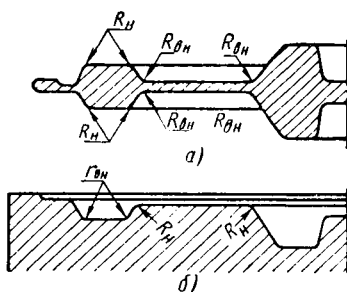
При конструировании инструмента для уточнения штамповочных уклонов используют различные опытные данные, одни из которых для молотовых штампов (в градусах), по данным А. В. Ребельского, приведены ниже (h_n —глубина полости; b_n —ширина или диаметр полости; l_n —длина или диаметр полости).

$l_n : b_n$	$h_n : b_n$		
	До 1	1—3	3—4,5
До 1,5	5	7	10
Свыше 1,5	3	5	7

Приведенные данные о штамповочных уклонах относятся к полостям, заполняемым выдавливанием. Если полость заполняется при осадке заготовки, то штамповочные уклоны могут быть значительно меньше. На рис. 198, а показана поковка, для штамповки которой путем осадки заготовки возможен уклон $1^\circ 30'$ вместо 10° согласно приведенным выше данным. На рис. 198, б дана поковка с двумя уклонами по высоте для получения меньших отходов в напуски при штамповке. Согласно ГОСТ 7505—74 внешние уклоны для поковок, штампуемых на молотах, должны быть не более 7° , а внутренние не более 10° .

Радиусы закругления. Различают два вида радиусов закругления штампов: внутренние $r_{вн}$ и наружные или внешние r_n (рис. 199, б). У поковок буквенные обозначения радиусов расположены в обратном порядке (рис. 199, а). Наружный радиус R_n у поковок трудно выполнить небольшим: металл затекает в угол штампа с малым радиусом в последнюю очередь; при этом

Рис. 199. Наружные и внутренние радиусы закругления поковки и штампа



требуется большое удельное усилие для течения металла. Чем больше глубина полости штампа, тем труднее получить малый радиус закругления у поковки, если полость заполняется выдавливанием в нее металла. Малые радиусы $r_{вн}$ могут привести к разрушению штампа в результате концентрации напряжений.

Радиус закругления r_n также не может быть очень малым, так как штамп в этом месте подвергается смятию, образуя поднутрение полости ручья, в котором поковка застревает. При наличии радиуса r_n недостаточной величины может произойти неправильное течение металла и образование складки (зажима), т. е. брак поковок (рис. 200). Например, наличие недостаточного по величине радиуса r_n при штамповке шестерни приводит к тому, что поток металла от ступичной части устремляется к ободу шестерни (I) и, встречая ограничивающее действие боковых стенок штампа, течет вверх, а затем осаживается (II) при продолжающемся интенсивном течении металла из ступичной части. Образующийся встречный поток металла приводит к складке (III). При нормальной величине радиуса $r_{н2}$ (рис. 200, б) металл растекается вдоль поверхности полости, образуя нормально выполненную поковку.

Большая величина радиуса $R_{вн}$ приводит к увеличению припусков, а слишком малая затрудняет дробеструйное удаление окалины с поковок.

Недостаточная величина закруглений кромок полости штампа вызывает рассечение волокон заготовки (рис. 201, а), поковка получается менее доброкачественной, чем в случае, когда штамп имеет нормальную величину за-

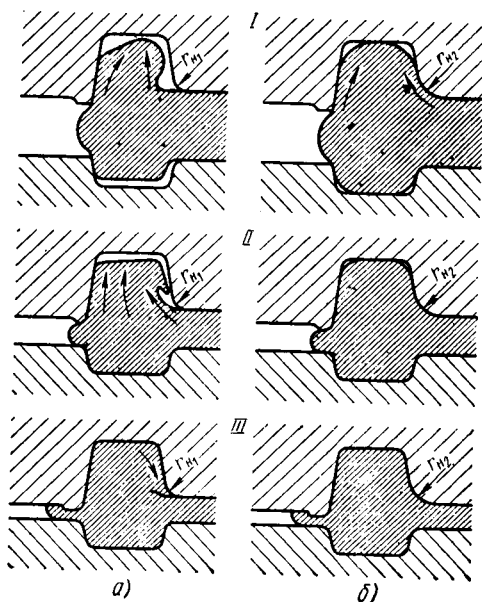


Рис. 200. Образование складки на поковке при недостаточном наружном радиусе $r_{н1}$ у штампа

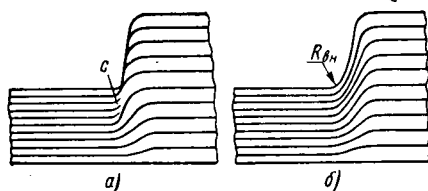


Рис. 201. Рассекание волокон металла при недостаточной величине радиуса $R_{вн}$ закругления кромки ручья:

c — расщепленные волокна

кругления кромок. Здесь волокно огибает контур поковки (рис. 201, б).

Обычно $R_{вн} = 1 \div 6$ мм, а $R_n = 1 \div 8$ мм. Чем глубже полость, тем большим принимают радиус закругления. Величину радиусов выбирают также в соответствии со способом заполнения полости при штамповке. Если полость заполняется выдавливанием, то радиус должен быть большим, чем при заполнении ручья осадкой (см. рис. 198). При обработке поковок резцом радиусы $R_{вн}$ и R_n выбирают в соответствии с припусками.

Условия заполнения углов штампов могут быть выявлены аналитически (например, методом построения сеток линий скольжения для плоской схемы деформации). В частности, для закрытых штампов условия затекания металла в углы, образуемые пуансоном и матрицей, лучше, чем в углы глухой полости; в связи с этим радиус закругления поковок в первых углах может быть меньше, чем во вторых. Внешние радиусы R_n поковок согласно ГОСТ 7505—74 приведены в табл. 34.

Полости и наметка отверстий в поковках. При штамповке поковок с глухими полостями или сквозными отверстиями стремятся получить выемки возможно большего объема, что приводит к экономии металла и уменьшению механической обработки.

Поковки с очень глубокими полостями не являются типичными для штамповки под молотами вследствие больших штамповочных уклонов и значительных потерь металла с напусками. Неглубокая полость в поковке (рис. 202, а) может быть образована в молотовых штампах тем легче, чем больше диаметр этой полости.

Таблица 34

Наименьшие радиусы R_n закруглений внешних углов штампованных поковок

Масса поковки, кг	Наименьшие радиусы R_n закруглений (мм) при глубине полости ручья штампа, мм			
	до 10	свыше 10 до 25	свыше 25 до 50	свыше 50
До 1	1,0	1,5	2	3
Свыше 1 до 6	1,5	2	2,5	3,5
» 6 » 16	2,0	2,5	3	4
» 16 » 40	2,5	3	4	5
» 40 » 100	3,0	4	5	7
Свыше 100	4,0	5	6	8

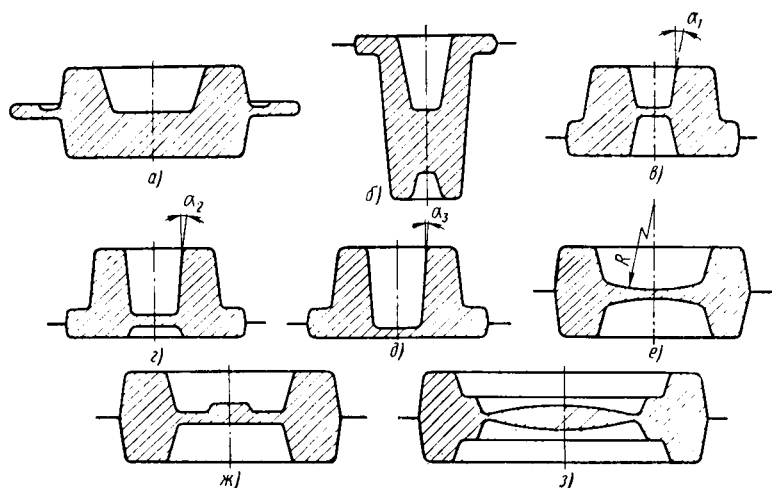


Рис. 202. Типы поковок с полостью

При штамповке таких поковок в наиболее тяжелых условиях работают выступы штампов, называемые знаками. Вследствие малой стойкости штамповых знаков полости диаметром менее 30 мм при горячей штамповке по ГОСТ 7505—74 не выполняют. При штамповке поковок деталей большой высоты с отверстием ограничиваются получением лишь глухих наметок (рис. 202, б) без последующей просечки отверстий, которые получают обработкой поковок резанием. Наличие выемки в поковке экономит металл и способствует получению более точных размеров при калибровке торцовых поверхностей. Наметки можно получить с двух сторон поковки. В данном примере, взятом из заводской практики, верхняя наметка полости выполнена из условия получения глубины, равной двум диаметрам, что сопряжено с весьма низкой стойкостью знака. Высота нижней наметки полости обычно меньше верхней, так как стойкость нижнего знака меньше верхнего (из-за большего его разогрева). Для обеспечения устойчивости положения заготовки при закладывании ее в ручей, нижний знак должен быть невысоким (если отсутствует предварительная подготовка полости в заготовке). ГОСТ 7505—74 для глухих наметок установлена глубина, равная не более 0,8 их диаметра.

Выполнение сквозных отверстий или углублений в поковках обязательно, если диаметр отверстий больше или равен высоте поковок. Если штампуют поковку детали небольшой высоты со сквозным отверстием, то наименьший расход металла и правильный радиальный поток его обеспечиваются при образовании одинаковых наметок с двух сторон поковки при условии несовпадения уровней плоскостей разреза штампа и образования перемычки (рис. 202, в). Образующаяся перемычка легко удаляется

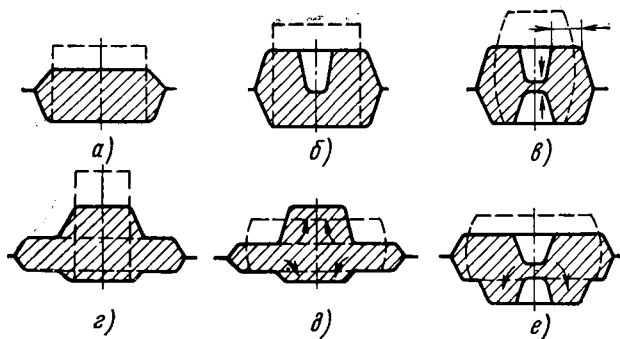


Рис. 203. Разновидности ручьев по способу их заполнения металлом

в просечном штампе при обрезке заусенца. Так как плоскость разреза штампа проходит ниже торца нижнего знака, то необходим нижний вставной знак. Его применяют, чтобы избежать больших потерь металла при строжке штампового кубика для нижней части штампа с выступающим знаком выше его зеркала (на исходном кубике). Решение, показанное на рис. 202, г, обеспечивает совпадение уровня вершин знаков с плоскостью разреза штампов, однако потери металла в напуски здесь относительно большие. Исходя из условий течения металла этот вариант имеет и тот недостаток, что радиальный поток металла, выдавливаемого между знаками, устремляется непосредственно в заусенечную канавку, что сопровождается более ранним и увеличенным заусенцем. Еще один вариант решения приведен на рис. 202, д. Здесь угол штампового уклона $\alpha_3 > \alpha_1$ и потери металла в напуск еще больше возрастают. В этом случае удаление перемычки отверстий значительно усложняется; стойкость знака наиболее низкая.

При штамповке поковок с наметкой отверстий приходится считаться с тем, что слишком толстые перемычки отверстий тяжело срезать, а чрезмерно тонкие перемычки нецелесообразны по затрате энергии при штамповке и из-за снижения стойкости штамповых знаков. На практике в каждом отдельном случае устанавливают оптимальные размеры перемычек с учетом применяемой стали и габаритных размеров поковки. Если перемычка получается большого диаметра и небольшой толщины, то для ее образования требуется затратить много энергии. В этом случае при штамповке в черновом ручье целесообразно получать перемычку между знаками с большими радиусами закруглений (рис. 202, е). При штамповке в чистовом ручье (рис. 202, ж) применяют такие знаки, которые образуют в середине перемычки магазин (карман). Металл с утолщенных мест перемычки вытесняется из него, при этом перемычку легко удалить.

Если поковка имеет большой диаметр и не представляет собой массивного изделия, то во избежание складок (см. рис. 200) в чи-

стовом ручье применяют штампы с карманом другой формы (рис. 202, з). Чтобы избежать больших потерь металла в напуски на перемычки отверстий, карман выполняют в соответствии с объемом и даже формой какой-нибудь другой поковки (см. рис. 319).

Чистовой ручей. При многоручьевой штамповке ручки подразделяют на подготовительные и окончательные. Последние, в свою очередь, делят на черновые и чистовые. Заполнение чистового ручья, в котором поковка приобретает окончательную форму, обычно происходит путем осадки, прошивки заготовки или выдавливания металла в углубления и выемки внутри полости штампа. Наиболее просто протекает процесс штамповки, при котором свободная осадка сопровождается формовкой несложных поволоков (рис. 203, а). Если поковку штампуют с образованием одностороннего или двустороннего углубления, то его можно получить при удовлетворительной стойкости штампов прошивкой с одновременной осадкой (рис. 203, б и в). На рис. 203, г показан пример образования выступающих частей поковки осадкой высокой заготовки, а на рис. 203, д эти же части поковки образуются при выдавливании низкой заготовки в торцовые углубления полости штампа. На рис. 203, е показана прошивка заготовки верхней частью штампа, а в нижней происходит выдавливание металла в кольцевую выемку полости штампа.

Механизм заполнения полостей сложных форм аналогичен рассмотренному выше. Деформации прошивки, внедрения ребер или знака штампа в поковку и выдавливания металла в перекрывающиеся заготовкой углубления ручья усложняют начальные стадии штамповки.

При штамповке на молотах нормальным числом ударов для заполнения чистового ручья считается 2—3. Большее число ударов свидетельствует о недостаточной энергии ударов молота или слишком развитой четвертой стадии штамповки; при этом производительность работы низкая. Штамповка за один удар, предпочтительная по производительности, из-за большой степени деформации заготовки сопровождается интенсивным течением металла в канавку (на третьей стадии штамповки). Это наблюдается также при штамповке на молотах с чрезмерно большой массой падающих частей для данной поковки. Штамповка в этом случае сопровождается выплескиванием металла из полости ручья; заусенец получается увеличенного объема. Штамповка за один удар с заусенцем нормальной величины возможна для небольшой степени деформации, например в случае тщательного фасонирования заготовки, а также при наличии чернового ручья в штампе.

Черновой ручей. Рассмотрим назначение и роль чернового ручья. Этот ручей должен облегчить штамповку в чистовом ручье путем воспроизведения приблизительной формы поковки с образованием заусенца между плоскими частями штампа, уменьшить расход металла в заусенец и увеличить стойкость более изнашиваемого чистового ручья.

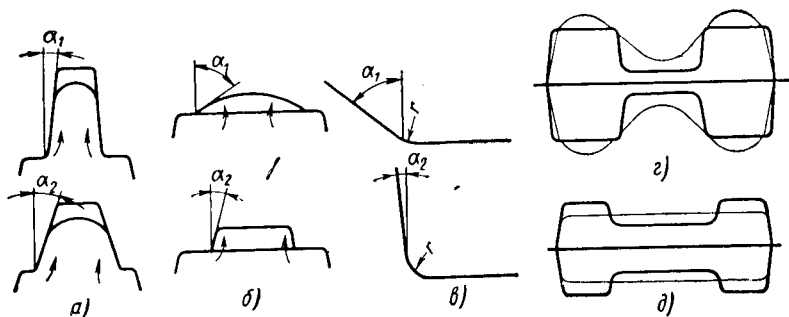


Рис. 204. Влияние уклонов и радиусов закруглений штампов на их заполнение

Для облегчения штамповки в чистовом ручье черновой ручей имеет очертания, сходные с окончательным, но форма его полости более плавная, радиусы закругления углов штампа большие, чем в чистовом ручье. Заготовка по выходе из чернового ручья имеет упрощенную форму поковки. Черновой ручей применяют чаще для поперечной штамповки. Чем сложнее форма штампуемых поковок, тем необходимее применение черновых ручьев, например для поковок с глубокими полостями, тонкими высокими ребрами, отростками и развилками. Высота заготовки, поступающей из чернового ручья, должна быть (за счет «недобоя») больше, а ширина (где это возможно) меньше, у чистового ручья, или равна ему с тем, чтобы после черновой штамповки заготовка могла свободно разместиться в чистовом ручье, в котором будет обеспечена некоторая высотная деформация заготовки.

Уклоны чернового ручья могут быть большими, равными или меньшими, чем уклоны чистовых ручьев. Если заполнению подлжит высокий выступ или ребро (рис. 204, а), то выдавливанием легко заполнить полость с меньшим углом штамповочного уклона α_1 , что может быть использовано для чернового ручья. Сопротивление деформации здесь определяется условиями затекания металла в сужающееся отверстие, причем чем больше угол штамповочного уклона α_2 полости для данной толщины выступа (у его дна), тем больше и сопротивление деформации. Если бы не трудности, связанные с извлечением поковок из полости, то следовало бы штамповать без штамповочных уклонов.

Образование широких и низких выступов поковки выдавливанием металла происходит при иных условиях (рис. 204, б). Металл, попадающий в неглубокую выемку ручья, образует естественную выпуклость и прилегает к плавной поверхности выемки без значительного скольжения по штампу, поэтому при большем уклоне α_1 потребуется меньшее усилие, чем при небольшом уклоне α_2 . При одной и той же величине радиуса закругления (рис. 204, в) заполнение угла легче при большем уклоне α_1 и труднее при малом уклоне α_2 .

Упрощение формы перехода в черновом ручье может заключаться также в значительном округлении ребер поковки (тонкая линия, рис. 204, *г*) или даже в полном их исключении, если высота ребер относительно небольшая (рис. 204, *д*).

В качестве примеров (рис. 205, *а—г*) приведено несколько наиболее распространенных форм поковок, требующих штамповки в черновом и чистовом ручьях.

Черновой ручей не имеет канавки для заусенца, однако при черновой штамповке не удается получить заготовки сложного очертания без образования заусенца, который вытекает между плоскими частями штампа. Если при черновой штамповке за пределы полости вытечет весь объем металла, предназначенный для заусенца, то при последующей штамповке в чистовом ручье заполнение штампа происходит за счет перераспределения металла внутри полости. Если же при черновой штамповке за пределы ручья вытечет только часть металла, предназначенного для заусенца, то окончательная штамповка происходит при одновременном увеличении его объема. При этом штамповка в чистовом ручье начинается с третьей стадии. Для правильного ведения процесса штамповки большое значение имеет толщина заусенца в черновом ручье, которая должна быть достаточной для того, чтобы этот заусенец выполнял свою роль и в чистовом ручье, т. е. обеспечивал необходимое сопротивление выхода металла в канавку и заполнение углов ручья. Пробной штамповкой устанавливают толщину заусенца и число ударов, при котором заканчивается черновая штамповка. Если в черновом ручье образуется очень тонкий заусенец, то, следовательно, ручей выполняет слишком большую работу и его следует разгрузить путем упрощения формы полости. Слишком тонкий заусенец чернового ручья впоследствии не заполняет область порога канавки чистового ручья (при сомкнутом положении штампов), поэтому для выполнения заусенцем своей роли придется предусмотреть некоторый дополнительный объем металла. Чрезмерно толстый заусенец чернового ручья деформируется не только в области порога, но и в магазине канавки и приводит к увеличению энергии, необходимой для штамповки. Заусенец чернового ручья должен быть толщиной $h_{ч.р}$ в пределах $h_m > h_{ч.р} > h$ (где h_m — высота магазина канавки; h — высота

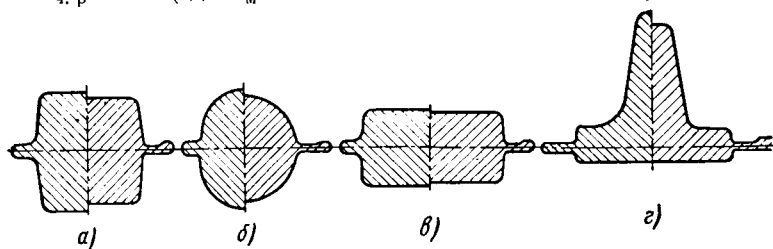


Рис. 205. Примеры профиля черновых (левые части) и чистовых (правые части) ручьев открытых штампов

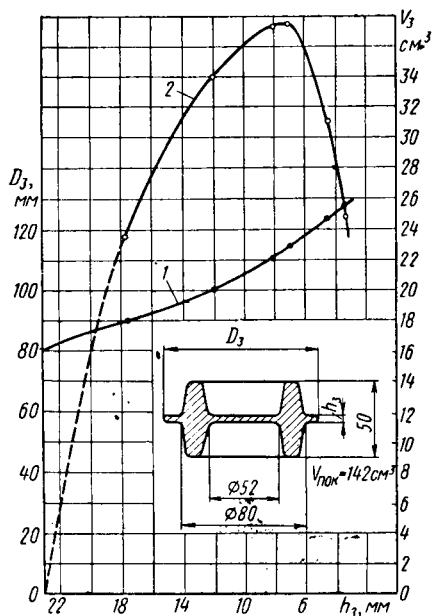


Рис. 206. Изменение размеров (1) и объема (2) заусенца черногого ручья в процессе штамповки (график составлен по данным О. А. Ганаго)

заусенечной щели в чистовом ручье). Оптимальная ширина заусенца в черновом ручье не превышает ширины порога канавки чистового ручья.

Стойкость чистового ручья повышается с увеличением работы деформации в черновом ручье. При прочих равных условиях желательно, чтобы оба окончательных ручья (чистовой и черновой) были равноизнашиваемыми. Из практики отечественных заводов следует, что наиболее быстро изнашивается чистовой ручей, даже если число ударов в нем меньше, чем в черновом ручье.

В практике некоторых стран (например, ФРГ) наиболее нагруженным и быстроизнашиваемым делают черновой ручей, так как он дешевле в изготовлении. Однако заполнение металлом сложного чернового ручья происходит за большее число ударов, поэтому производительность снижается.

Процесс заполнения чернового ручья в общем такой же, как и чистового ручья (см. рис. 151). Отличие состоит в том, что в черновом ручье четвертой стадии штамповки нет. Кроме того, в черновом ручье можно допустить незаполнение некоторых его мест. Например, если требуется образовать выступы на поковке, то глубину соответствующей полости в ручье можно предусмотреть несколько большей, чтобы не стеснять в ней движение металла. При большой ширине заусенца чернового ручья путем экспериментов можно обнаружить сначала увеличение, а затем даже уменьшение объема заусенца V_3 ввиду наличия двух потоков металла в нем. При этом объем заусенца уменьшается, что связано с возвратным движением частиц металла из заусенечной канавки в полость штампа (рис. 206). В рассматриваемом случае объем заусенца уменьшается к концу штамповки приблизительно на 30% от его первоначального объема. Перетекание металла из канавки в полость ручья является положительным только в том случае, если штампуют при увеличенном объеме заусенца, однако такой процесс не экономичен по расходу металла и энергии на штамповку. Обратный поток металла (из канавки в полость ручья) более вероятен в черновом ручье из-за отсутствия в нем канавки

с магазином. При разработке технологического процесса штамповки ориентироваться на обратный поток металла не рекомендуется.

Подготовительные ручки и операции. Наиболее рационально фасонировать заготовки на специализированных машинах (см. гл. VII), установленных в пределах рабочего места штамповщика или в другом месте. Однако при многоручевой штамповке подготовительные операции могут совершаться и в основном штампе, хотя это и не рационально, так как ручки расположены эксцентрично, что не позволяет использовать молот на полную мощность из-за опасности поломки штоков.

В зависимости от положения заготовки в процессе ее штамповки и от формы поковки в ручьях основного штампа применяют различные подготовительные операции. При продольной штамповке (в торце) поковок типа тел вращения наиболее распространена подготовительная осадка, применение которой обычно вызывается следующими соображениями.

1. Трудностью резки на ножницах коротких заготовок ввиду искажения их формы в процессе резки при длине заготовок $L_0 < < D_0$ для мягкой стали и $L_0 < 0,5 D_0$ для твердой стали.

2. Уменьшением времени и работы деформации в окончательном ручье штампа, сопровождаемым уменьшением разогрева штампа, при этом стойкость окончательного ручья повышается.

3. Необходимостью обеспечить устойчивость заготовки в следующем ручье (ликвидация косины и неровностей на поверхности среза).

4. Удалением окалины, которая при осадке отделяется от боковой поверхности заготовки.

5. Необходимостью фиксации положения заготовки в чистовом ручье.

6. Необходимостью дополнительной деформации для устранения литой структуры (при использовании заготовок из недоката).

Приведенные соображения считаются достаточным основанием для применения осадки перед штамповкой, однако следует иметь в виду, что при осадке наблюдается потеря не только энергии, затрачиваемой на эту операцию (поскольку заготовка могла быть большего сечения), но и энергии, затрачиваемой в прокатных цехах для прокатки прутков размером меньшего сечения, чем это нужно для штамповки без осадки. По приблизительным расчетам для поковок простых форм расход энергии на прокатку и последующую осадку хотя и меньше, чем энергии, затрачиваемой на штамповку, но составляет десятки процентов от этой работы.

Кроме того, предварительная осадка приводит к снижению производительности при штамповке. С увеличением длины заготовки при данном ее объеме возрастают потери металла, вызванные неточностью прокатки и резки заготовок. Более рациональным является процесс продольной штамповки заготовок, имеющих

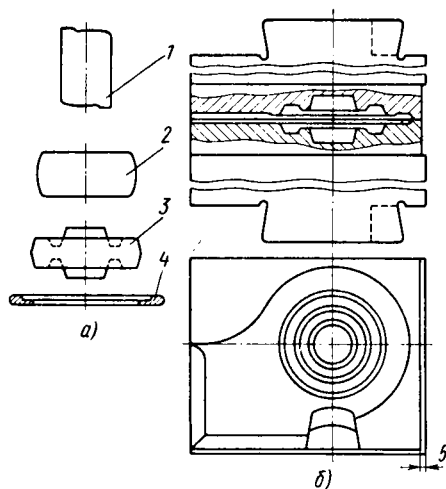


Рис. 207. Переходы и молотовый штамп для торцевой штамповки поковок шестерни

оптимальное соотношение размеров и полученных разделкой на мерные заготовки прокатных прутков крупного профиля.

Проблема получения промышленным способом точных по объему заготовок решается совместно с задачей получения коротких заготовок. Окалину с нагретых заготовок можно удалить более совершенным способом, чем при осадке (она остается на

торцах заготовки), например, в гидроочистительных установках (см. рис. 55, 56). Дополнительная деформация при штамповке для ликвидации следов дендритов может оказаться необходимой при применении блюмов или так называемого недоката, если обжатие при прокатке не превышало 50%, или в случае использования литых заготовок. Рациональный профиль заготовки для продольной штамповки (с вогнутой боковой поверхностью) приведен на рис. 159.

Переходы и молотовый штамп для штамповки поковок типа тел вращения (шестерни) приведены на рис. 207. Мерную заготовку 1 (рис. 207, а) осаживают 2 с такой степенью деформации, чтобы центральное положение заготовки фиксировалось стенками чистового ручья. Окончательную штамповку 3 выполняют в чистовом ручье штампа молота. Заусенец 4 обрезают на установленном рядом прессе в обрезном штампе. В центре штампа (рис. 207, б) расположен окончательный ручей, выполненный по чертежу готовой поковки с учетом теплового расширения стали при температуре конца штамповки. Площадка для осадки находится в левом переднем углу штампа (по пути от печи, из которой поступают нагретые заготовки), для чего размер левой части ее больше правой. Для экономного использования поверхности штампа площадка для осадки частично расположена на дне магазина заусенечной канавки.

Для поковок с отверстием или полостью в качестве подготовительной операции применяют осадку с глухой наметкой полости (рис. 208, а). Наметка облегчает формовку полости в следующем ручье (см. справа), ее используют после поворота заготовки на 180° для центральной фиксации в окончательном ручье, где штампуют поковку с использованием двух знаков 1 и 2. Знак для наметки полости размещен в верхней части штампа, на нижнем штампе

Рис. 208. Подготовительные операции при торцовой штамповке

для центровки положения заготовки — площадка, углубленная на 2—3 мм.

Для фасонирования при штамповке в торец длинных поковок с хвостовиками применяют предварительную оттяжку концов заготовок (рис. 208, б), что обеспечивает уменьшение деформации и лучшую устойчивость заготовки в окончательном ручье. Кроме того, преимущество подобного процесса состоит в том, что штамповочный уклон α на хвостовой части поковки может быть не более $1,0\text{—}1,5^\circ$ (см. рис. 198). Заготовки фасонируют путем свободного выдавливания стержневых отростков (рис. 208, в; слева — одностороннее, справа — двустороннее выдавливание).

Объем заготовки

$$V_{\text{заг}} = k(V_{\text{пок}} + V_{\text{отх}}). \quad (73)$$

Объем поковки $V_{\text{пок}}$ определяют по соответствующему чертежу холодной поковки; объем отхода

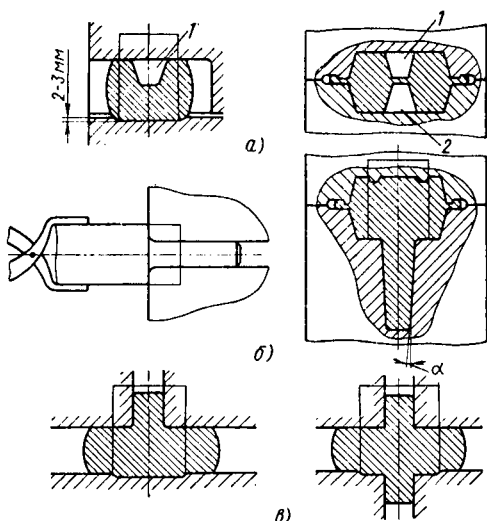
$$V_{\text{отх}} = V_{\text{пер}} + V_{\text{з}},$$

где $V_{\text{пер}}$ — объем перемычки, находят по чертежу поковки; $V_{\text{з}}$ — объем заусенца, находят, как указано выше.

Коэффициент k учитывает угар металла при нагреве и в процессе последующей штамповки. При угаре, равном 1%, $k = 1,01$.

Размеры заготовок для продольной штамповки определяют с учетом перечисленных выше соображений; осадка заготовки перед штамповкой (если она предусмотрена) не превышает 25—40%. Размеры осаженной заготовки D_7 и D_6 , а также объем, характеризующий бочкообразование, можно определить по ранее изложенной методике. Пробной штамповкой корректируют расчетное соотношение размеров заготовки до и после осадки и выдерживают их при последующей штамповке.

Для длинноосных поковок более типична поперечная штамповка. Назначение подготовительных ручьев в этом случае также заключается в перераспределении металла вдоль оси заготовок. Объем заготовки, как и для торцовой штамповки, находят по формуле (73). Однако величина отходов $V_{\text{отх}}$ учитывает объем



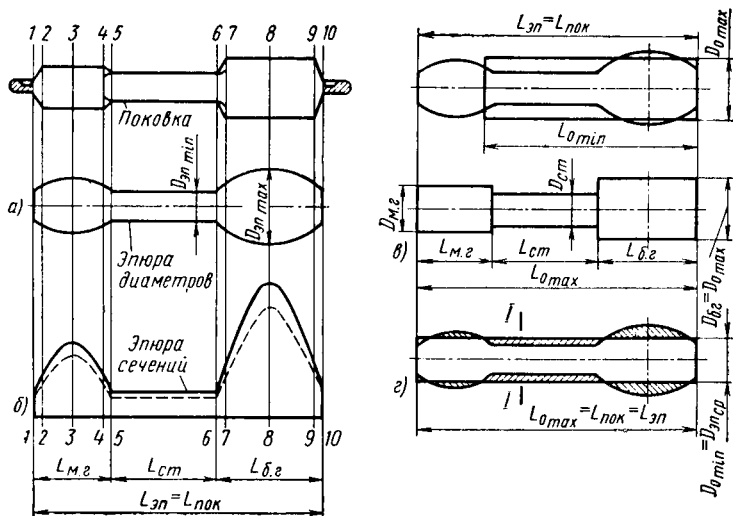


Рис. 209. Поковка, эпюры диаметров и сечений и варианты заготовок для штамповки

заусенца $V_з$, объем клещевого конца $V_{кл}$, который находят исходя из $l_{кл} \geq D_0$ (если он предусматривается), потерь металла в соединительный напуск $V_{с.н}$, если рассчитывают заготовку для спаренной или многоштучной штамповки. Для поковок с отверстиями в отходах учитывают объем удаляемого металла в перемычках отверстий $V_{пер}$. В общем случае

$$V_{отх} = V_з + V_{кл} + V_{с.н} + V_{пер}. \quad (74)$$

Размеры заготовки определяют исходя из следующего. Длина фасонной заготовки не должна превышать длину поковки. Для определения конфигурации фасонной заготовки в виде тела вращения вокруг оси поковки строят по ее чертежу эпюру диаметров (рис. 209). Для этого определяют площади различных поперечных сечений поковки с учетом заусенца по всему периметру поковки. Площадь каждого сечения приравнивают к площади круга и определяют соответствующий диаметр равновеликой окружности.

Если F — площадь данного сечения поковки с учетом заусенца, то

$$F = F_{пок} + 2F_з = \frac{\pi (D_{эп})^2}{4}, \quad (75)$$

где $D_{эп}$ — диаметр эпюры, соответствующий данному сечению поковки; $F_з$ — площадь поперечного сечения одностороннего заусенца. Отсюда

$$D_{эп} = 1,13 \sqrt{F}.$$

На рис. 209, а приведена эпюра диаметров применительно к поковке типа шатуна. Эпюра построена по десяти сечениям

от F_1 до F_{10} поковки. Объем тела вращения, получающегося при повороте этой эпюры вокруг ее горизонтальной оси, равен объему расчетной заготовки (если пренебречь объемом частей заусенца левее сечения 1 и правее сечения 10). При конструировании штампов полезной оказывается эпюра сечений (рис. 209, б), которая отличается от эпюры диаметров тем, что ординаты эпюры сечений соответствуют площадям сечения поковки; площади отдельных элементов эпюры сечений равны объемам этих элементов, а площадь всей эпюры равна объему нагретой заготовки или объему поковки с заусенцем и другими отходами.

При построении эпюры для поковок сложной формы следует учитывать неравномерность образования заусенца в процессе штамповки (рис. 209, б, штриховой линией показана эпюра сечений поковки без заусенца). В данном случае на участках вогнутых углов эпюры предусмотрен заусенец меньше среднего расчетного, а на участках выпуклых углов — больше среднего расчетного объема.

Если продольное сечение круглой фасонной заготовки соответствует эпюре диаметров, то при штамповке такой заготовки в окончательном ручье перемещение металла вдоль оси будет необходимо только в связи с образованием заусенца на концах поковки; заполнение ручья произойдет при преимущественном растекании металла перпендикулярно оси заготовки.

Для придания фасонной заготовке формы, продольное сечение которой соответствует эпюре диаметров, служат различные подготовительные ручьи. При выборе размеров исходной катаной заготовки следует иметь в виду два крайних случая: заготовка наибольшего диаметра $D_{0(\max)}$ и наименьшей длины $L_{0(\min)}$ (рис. 209, в, верхний эскиз) и заготовка наименьшего диаметра $D_{0(\min)}$ и наибольшей длины $L_{0(\max)}$ (рис. 209, г).

1. В случае с наиболее короткой заготовкой ($L_{0(\min)}$) ее диаметр $D_{0(\max)}$ находят по площади поперечного сечения, получаемой при делении объема большой головки шатуна $V_{6.г}$ на длину этой головки $L_{6.г}$, взятую из эпюры диаметров:

$$F_{0(\max)} = \frac{V_{6.г}}{L_{6.г}} = \frac{\pi D_{0(\max)}^2}{4}, \quad (76)$$

откуда

$$D_{6.г} = D_{0(\max)} = 1,13 \sqrt{F_{0(\max)}}. \quad (77)$$

Общая длина наиболее короткой заготовки

$$L_{0(\min)} = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{0(\max)}}. \quad (78)$$

Для получения из цилиндрической заготовки длиной $L_{0(\min)}$ фасонной заготовки длиной, равной длине поковки, необходимо протянуть заготовку, для чего служат протяжные ручьи. В данном случае (рис. 209, в) нужно протягивать левую часть заготовки,

оставив непротянутым правый конец заготовки такой длины, которая обеспечит объем большой головки шатуна. Левый конец заготовки нужно протягивать до размеров $L_{м.г}$ и $D_{м.г} = 1,13 \times \sqrt{\frac{V_{м.г}}{L_{м.г}}}$ на участке малой головки и на размеры $L_{ст}$ и $D_{ст} = 1,13 \sqrt{\frac{V_{ст}}{L_{ст}}}$ на участке стержня ($L_{м.г}$ — длина малой головки по эюре и $L_{ст}$ — длина стержня по эюре) ¹.

2. Так как в процессе поперечной штамповки длина заготовки не может уменьшиться, то наибольшая ее длина для даннойковки

$$L_0(\max) = L_{пок} \quad (\text{не больше}).$$

Из выражения

$$V_{заг} : L_{пок} = \frac{\pi D_0^2(\min)}{4} \quad (79)$$

определяют соответствующий наименьший диаметр $D_0(\min)$ этой заготовки (рис. 209, з). При совмещении такой заготовки с эпюрой можно обнаружить участки, на которых металла недостаточно (штриховка наклонена влево), и участки с избытком металла (штриховка наклонена вправо). Подобное перемещение металла вдоль оси можно осуществить в так называемом подкатном ручье, который придает заготовке более плавные очертания, чем протяжной ручей. По данной эпюре и исходной цилиндрической заготовке нетрудно определить объемы, которые нужно переместить вдоль заготовки, тогда сечение $I—I$ определит границы раздела избыточного металла, от которой происходят перемещения металла в противоположных направлениях: слева от сечения $I—I$ металл для заполнения малой и справа — для большой головок шатуна.

¹ Полученный диаметр из выражений $V : L_0 = F_0$ и $D_0 = 1,13 \sqrt{F_0}$ является диаметром цилиндра, равновеликого (по объему V и длине L_0) данной сложной фигуре. Не следует отождествлять указанный диаметр со средним диаметром $D_{ср}$ этой фигуры или с диаметром среднего сечения данной фигуры $D_{с.с}$. Например, для фигуры в виде усеченного конуса с малым диаметром, равным 50 мм, большим диаметром 100 мм и длиной L_k диаметр равновеликого цилиндра D_0 найдем следующим образом:

$$V : L_k = \frac{1}{3} \pi L_k (50^2 + 50 \cdot 100 + 100^2) : L_k = 4588 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$D_0 = 1,13 \sqrt{4588} = 76,5 \text{ мм.}$$

Средний диаметр данного конуса

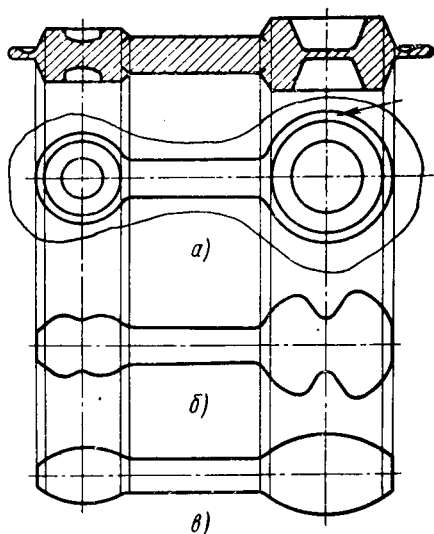
$$D_{ср} = \frac{50 + 100}{2} = 75,0 \text{ мм.}$$

Диаметр среднего сечения данной фигуры

$$D_{с.с} = 1,13 \sqrt{\frac{\pi}{4 \cdot 2} (50^2 + 100^2)} = 79,0 \text{ мм.}$$

Следовательно, диаметр равновеликого цилиндра больше среднего диаметра фигуры и меньше диаметра среднего сечения фигуры: $75,0 < 76,5 < 79,0$.

Рис. 210. Поковка, штампуемая с наметкой отверстий и соответствующие эпюры диаметров



Положение границы сечения $I—I$ удобнее показать на эпюре сечений, так как нахождение равных объемов в этом случае сводится к определению равных площадей (что практически выполняют при вычерчивании эпюр на миллиметровой бумаге). Для получения фасонной заготовки рассматриваемого профиля могут быть применены исходные заготовки D_0 в пределах $D_{0(\max)} > D_0 > D_{0(\min)}$. Длина этих заготовок $L_{0(\min)} < L_0 <$

$< L_{0(\max)}$, вначале их протягивают до $L_{0(\max)} = L_{\text{пок}}$, а затем подкатывают. Чем ближе диаметр выбранной заготовки простого профиля к диаметру $D_{0(\max)}$, тем большую работу должен выполнить протяжной ручей и тем меньше работы приходится на долю подкатного ручья. Напротив, чем длиннее исходная заготовка в указанных выше пределах, тем меньшая роль протяжки и большая роль подкатки. Цель построения описываемых эпюр состоит в отыскании такой формы фасонной заготовки, которая обеспечивает заполнение чистового ручья штампа без перемещений металла вдоль оси заготовки, т. е. по кратчайшим путям. На основании анализа формы эпюры выявляются необходимые переходы при штамповке. Не во всех случаях следует добиваться полного соответствия между продольным профилем фасонной заготовки и эпюрой диаметров. Например, если рассмотренную выше поковку шатуна штамповать с наметкой отверстий в ее головках (рис. 210, а), то эпюра диаметров принимает более сложные очертания (рис. 210, б) и соответствующая ей фасонная заготовка не обеспечит заполнение полости штампа в местах, указанных стрелкой на рис. 210, а, из-за необходимости перемещать металл в этих местах на большие расстояния. В подобных случаях упрощают эпюру, приводят ее к равновеликой (рис. 210, в); эта форма эпюры соответствует такой фасонной заготовке (в виде тела вращения), которая обеспечит заполнение чистового ручья штампа.

Анализ эпюр диаметров позволяет установить, что для превращения заготовок простых форм в фасонные при поперечной штамповке приходится удлинять их отдельные части за счет соответствующего уменьшения поперечного сечения или увеличивать поперечные сечения в отдельных местах заготовки за счет

уменьшения их в других местах. Это и составляет основную задачу подготовительных ручьев: протяжного и подкатного.

При штамповке поковок с непрямой осью технологические переходы не отличаются от описанных выше; для получения кривизны здесь применяют гибочный ручей. Для расчета заготовки поковку выпрямляют и строят эпюру диаметров. Аналогично штампуют поковки с развилками. Если отростки развилки отстоят друг от друга на небольшом расстоянии, то гибка нецелесообразна и штампуют из цельной заготовки, применяя специальные рассекатели.

Рассмотрим подробнее условия применения и устройство подготовительных ручьев для поперечной штамповки.

Протяжной ручей. Применяют в тех случаях, когда длина выбранной заготовки меньше длины поковки. Протяжка может быть осуществлена на концах и в средней части заготовки, на одинаковые и разные размеры, что позволяет получить большое разнообразие форм фасонных заготовок. Протяжные ручьи бывают открытыми и закрытыми в зависимости от формы рабочей поверхности.

В конструкции протяжного открытого ручья (рис. 211, слева) основной частью является протяжной порог площадью $b_{пр}l_1$, представляющий собой прототип плоских бойков, применяемых для протяжки при ковке. У закрытого ручья этот порог вогнутый (показан более тонкой линией), как в случае использования вырезных бойков дляковки. Поскольку протяжка обычно является первой операцией при многоручьевой штамповке, то протяжной ручей размещают на ближайшем к нагревательному устройству углу штампа (с левой его стороны). Во избежание рассекания волокон рабочие выступы протяжного ручья скруглены радиусами r . Расстояние между этими выступами h_1 при сомкнутом положении штампа определяет наименьшую толщину протянутой заготовки. Большую толщину заготовки при протяжке можно получить за счет «недобоя», определяемого на глаз, если не применяют специального программирующего устройства.

В сечении АА показано расположение заготовки в конце протяжки на размер h_1 . Для более интенсивной протяжки применяют закрытые протяжные ручьи. Вследствие ограничивающего действия овальных выступов ручья уширение при протяжке уменьшается; этим и объясняется более интенсивное течение металла вдоль оси заготовки в случае протяжки в ручьях закрытого типа. Если протяжной ручей является единственным подготовительным ручьем при штамповке или последним в их числе, то обычно используют ручей закрытого типа, так как из него заготовка выходит более округлой.

Закрытый ручей следует применять при протяжке участка заготовки значительной длины. Более интенсивная протяжка в закрытом ручье (за меньшее число ударов) позволяет получать в конце штамповки температуру заготовки выше, чем в открытом

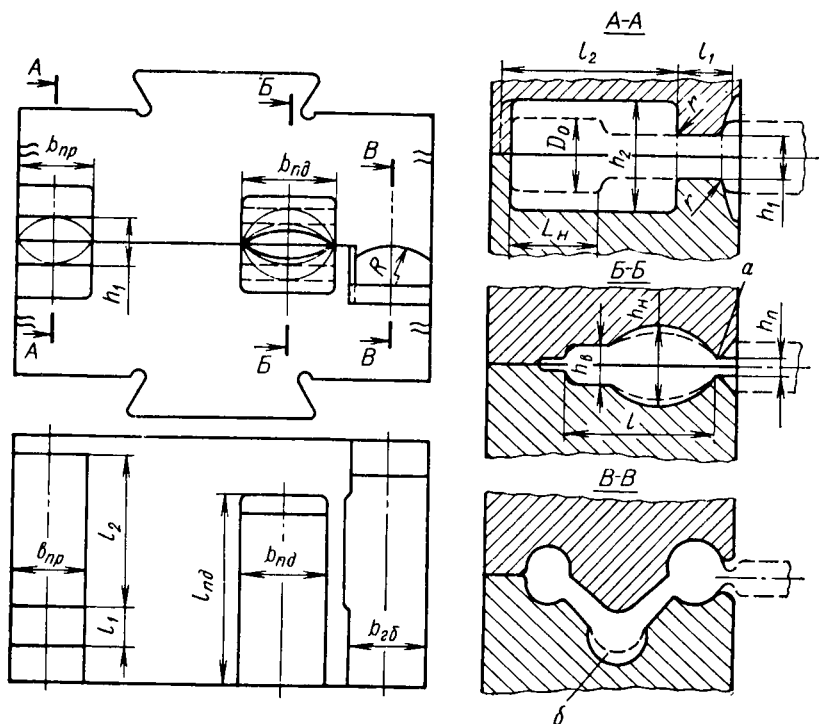


Рис. 211. Подготовительные ручьи молотовых штампов

ручье, что благоприятно сказывается на стойкости чистового ручья. Стоимость штампа при наличии закрытого протяжного ручья немного выше, чем при открытом ручье, за счет более сложной механической обработки.

Протяжной ручей чаще всего расположен параллельно боковой стороне кубика штампа (см. рис. 211). При этом заднюю глухую стенку ручья используют в качестве упора-ограничителя длины заготовки в конце протяжки. Если длина заготовки настолько большая, что конец ее выходит за пределы штампа, то применяют сквозной протяжной ручей без упора. В этом случае ручей занимает значительную площадь зеркала штампа; для уменьшения ее применяют угловое расположение ручья (см. рис. 215). При конструировании такого ручья нужно проверить, не упрется ли заготовка в станину молота; в противном случае нужно изменить угол расположения ручья, который обычно равен $10-20^\circ$.

В зависимости от расположения на заготовке участка протяжки и необходимости использования упора протягивают с продвижением заготовки «от себя» или «на себя». При протяжке «на себя» заготовку в начале процесса устанавливают вплотную к упору. Этим и определяют размер l_2 ручья (рис. 211). Ручей получается

коротким даже в тех случаях, когда участки протяжки имеют большую длину. При протяжке «от себя» упор используют в конце операции, ручей в этом случае получается длиннее.

Протяжку по обоим способам в зависимости от формы поковок осуществляют с кантовкой (на 90°) или без нее в открытых и в закрытых протяжных ручьях.

Размеры рабочих выступов протяжного ручья определяют по наименьшему сечению расчетной заготовки (объемной эпюры диаметров). У протяжного ручья основным является размер h_1 , численно равный наименьшему размеру H_k протянутого сечения заготовки; $F = H_k B_k$ (F — минимальное протянутое сечение, B_k — ширина его). Протяжка в открытом ручье за минимальное число ударов приводит к получению окончательного сечения заготовки, близкого к прямоугольному, с отношением размеров $\frac{B_k}{H_k} = \eta$ (η — коэффициент перехода больше 1). Имея в виду, что $B_k = \eta h_1$, а протягиваемое сечение заготовки $F = B_k h_1 = h_1^2 \eta = \frac{\pi D_{\text{эп}}^2}{4}$ и полагая (по А. В. Ребельскому) $\eta = 1,4 \div 1,6$, получим

$$h_1 = (0,7 \div 0,75) D_{\text{эп}} \quad (80)$$

$D_{\text{эп}}$ — наименьший диаметр расчетной заготовки в месте протяжки.

При длине протянутой части заготовки более 500 мм следует принимать $h_1 = 0,7 D_{\text{эп}}$ мм, при длине 200—500 мм $h_1 = 0,75 D_{\text{эп}}$ и при менее 200 мм $h_1 = 0,8 D_{\text{эп}}$.

При закрытом ручье

$$h_1 = (0,81 \div 0,86) D_{\text{эп}} \quad (80')$$

Длину порога l_1 принимают равной

$$l_1 = (1,2 \div 1,8) D_0, \quad (81)$$

где D_0 — размер исходной заготовки (круглой или квадратной).

Меньшие величины l_1 относятся к протяжкам меньшей длины.

Ширина ручья $b_{\text{пр}} = (1,2 \div 2,5) D_0$, причем чем больше сечение заготовки, тем больше величина в скобках. Необходимо, чтобы исходная заготовка, укладываемая даже неточно по оси ручья, не выходила за его край и не защемлялась между частями штампов во избежание брака поковок (складок в последующих ручьях). Неправильное соотношение размеров ручья может привести в начале протяжки к слишком большому переходному коэффициенту ($\eta > 2,5 \div 3,0$), из-за чего после очередной кантовки произойдет поперечный изгиб заготовки.

Длину части ручья l_2 определяют из простых геометрических соотношений.

При протяжке от себя

$$l_2 = \frac{V_{\text{пр}}}{F_k} + L_n - l_1,$$

где $V_{\text{пр}}$ — объем протягиваемого металла; F_k — сечение протянутой заготовки; L_n — длина переднего конца, не подлежащего протяжке (при протяжке с конца $L_n = 0$).

При протяжке «на себя»

$$l_2 = \frac{V_{\text{пр}}}{F_0} + L_n - l_1,$$

где F_0 — сечение исходной заготовки.

Во избежание защемления заготовки при протяжке «от себя», в верхнем штампе увеличивают размер l_2 (показано штриховой линией на рис. 211). Обычно принимают $r = 0,25l_1$, $h_2 = D_0 + 5$ мм.

Нормальная уковка при протяжке, равная $K_L = \frac{F_0}{F_k}$, обычно не бывает более четырехкратной; в противном случае большая продолжительность протяжки отрицательно сказывается на производительности работы и может привести к чрезмерному остыванию заготовки.

Подкатной ручей (см. сечение $ББ$ на рис. 211). Применяют в тех случаях, когда длина заготовки (исходной или протянутой) равна длине поковки (без учета клещевой части). Деформация заготовки в подкатном ручье сопровождается увеличением поперечных сечений в одних ее местах за счет их уменьшения в других. Длина заготовки при подкатке существенно не изменяется. Профиль подкатного ручья строят по контуру эпилуры диаметров; при этом имеется в виду, что на участках исходной заготовки с избытком металла он должен перетекать в сторону участков с недостатком металла (см. рис. 209, з). При большом объеме смещаемого металла ручей выполняют с уклоном по обе стороны линии раздела $I—I$, что способствует более интенсивному перемещению металла вдоль оси ручья. При подкатке заготовку кантуют после каждого удара молота. Подкатанная заготовка имеет гладкую поверхность.

Если левая сторона штампового кубика уже занята (например, протяжным ручьем), то для подкатного ручья отводят правую сторону штампа или участок, расположенный вблизи от его края, оставляя середину его для наиболее тяжело нагруженных окончательных ручьев.

При подкатке заготовка деформируется на участке l (рис. 211), принимая форму ручья за несколько ударов при кантовке заготовки.

Порог ручья a отжимает клещевину от основной части заготовки. С противоположной стороны находится узкая полость, где размещается так называемый ус, это — металл, неизбежно защемляемый штампами и вытекающий за пределы ручья. В клещевое отверстие также вытекает часть металла. Поэтому подкатка осуществляется обычно не более чем за 4—8 ударов.

Закрытый подкатной ручей (профиль его показан штрихпунктирной линией) обычно выполняют постоянной ширины $b_{\text{пд}}$.

в связи с чем скругления рабочей поверхности на разных участках имеют различные радиусы. Этот более дорогой в изготовлении ручей обладает преимуществами перед открытым подкатным ручьем. Подкатка в нем протекает интенсивнее, а получающаяся заготовка имеет более правильную округлую форму.

Повышение интенсивности подкатки в закрытом подкатном ручье объясняется затрудненным уширением. Подпор со стороны стенок ручья способствует осевому перемещению металла.

Основные данные для расчета подкатных ручьев получают из эпюр диаметров и сечений. При подкатке за небольшое число ударов не получают равноосных сечений. Например, при подкатке в закрытом ручье сечение имеет овальную форму, которая практически может быть принята за эллиптическую.

Основными у подкатного ручья являются размеры h_b (на участке вытеснения металла) и h_n (на участке набора металла, см. сечение ББ на рис. 221).

Если исходить из рассуждений, аналогичных приведенным выше для протяжного ручья, и полагать $\eta = 1,5 \div 2$ для тех участков ручья, на которых металл вытесняется, то

$$h_b = (0,7 \div 0,9) D_{\text{эп}_{\min}}, \quad (82)$$

где $D_{\text{эп}_{\min}}$ находят по эпюре диаметров.

Рекомендуется (по А. В. Ребельскому) при $D_0 > 60$ мм принимать коэффициент равным 0,7; при $D < 30$ мм — 0,9. При расчете h_b открытых подкатных ручьев на участке вытеснения металла А. Д. Богдан рекомендует величину диаметра в таких формулах принимать не по эпюре, а по соответствующему сечению поковки без учета заусенца, чтобы избежать получения неоправданного избытка металла в рассматриваемых местах поковки.

Для участков набора в целях улучшения условий течения металла рекомендуется принимать $h_n > D_{\text{эп}_{\max}}$. В этом случае потери на преодоление сил трения при наборе металла минимальные. Длина отдельных участков подкатного ручья определяется по эпюре диаметров с увеличением на усадку металла. При большом наборе металла или при длинных стержнях у поковок для повышения интенсивности подкатки горизонтальные участки в ручье заменяются наклонными (под углом $2-5^\circ$) по обе стороны от линии раздела согласно эпюре (см. рис. 209). Ширину закрытого ручья $b_{\text{нд}}$ рекомендуется определять из выражения

$$b_{\text{нд}} = 1,1 D_{\text{эп}_{\max}} \div 1,7 D_0 \text{ или } 1,9 a_0,$$

где $D_{\text{эп}_{\max}}$ — максимальный диаметр эпюры; D_0 — диаметр круглой заготовки; a_0 — сторона квадратной заготовки.

При расчете принимают большее значение ширины из двух указанных предельных. В большинстве случаев длинноосные поковки штампуют с применением более дешевых, чем круглые, квадратных заготовок.

Высота клещевой выемки (в месте пережима, см. рис. 211) обычно не превышает $h_n \leq (0,2 \div 0,25) D_0$. Радиусы закругления рабочих поверхностей поперек закрытого ручья находят графически исходя из известной глубины и ширины ручья.

Очень узкие ручьи могут привести к вытеканию металла за их пределы и к браку. Наиболее опасным в этом отношении является наименьшее сечение подкатного ручья.

При подкатке за 4—8 ударов, в течение которых металл остывает до допустимых пределов, можно увеличить сечение относительно исходного примерно в 2 раза, при этом диаметр исходной заготовки

$$D_0 = 0,7 D_{\text{эп max.}}$$

Макроструктура подкатанных заготовок обладает рядом положительных качеств, так как расположение волокон в них соответствует плавной форме ручья и не имеет резких перегибов и узлов.

Гибочный ручей (см. рис. 211, сечение *BB*). Применяют для штамповки изогнутых заготовок и при гибке уже оформленных поковок. На практике встречаются две разновидности гибочных ручьев: со свободной гибкой и для гибки с защемлением заготовки. Процесс гибки подробно описан в гл. VII.

Если по условиям процесса требуется пространственный изгиб заготовки, то гибку расчлняют на отдельные операции, причем последняя из них может быть осуществлена в чистовом ручье. При свободной гибке заготовку укладывают в ручей нижней части штампа и фиксируют упором или по шаблону. В зависимости от наличия других ручьев и исходя из очередности гибочной операции ручей для гибки располагают с левой или с правой стороны штампа.

Ручей открытого типа (см. рис. 211, сечение *BB*) обычно имеет в верхней части штампа седловину радиуса R , которая предотвращает смещение заготовки в сторону. Для накопления металла с внешней стороны угла в штампе предусмотрен карман *б*. Сечение ручья в этом месте имеет большую высоту, чем это требуется для заготовки данного размера. Длину прямой заготовки, закладываемой в гибочный ручей, рассчитывают по развернутой длине фигуры с учетом некоторого удлинения, которое всегда имеет место при горячей гибке. Удлинение заготовки (растяжка) особенно заметно при гибке с защемлением заготовки (рис. 212, *а*).

Если гнут штампованную поковку, то профиль ручья соответствует чертежу поковки. Если гибка предшествует штамповке, то профиль изогнутой заготовки в плоскости действующей силы должен вписываться в контур окончательного ручья (в плоскости разреза штампов). Исключение составляют внутренние углы 1 и 2 (участки сжатия), которые должны быть построены в гибочном ручье так, чтобы обеспечивалось перекрытие металлом углов окончательного ручья во избежание образования складок

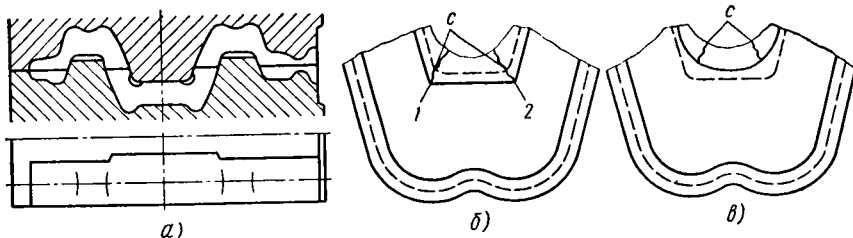


Рис. 212. Ручьи для гибки

(рис. 212, б). Так как течение металла происходит по кратчайшим расстояниям, то внутри углов 1 и 2 неизбежна встреча двух потоков металла. Если эта встреча происходит в пределах окончательного ручья (контур его обведен штриховой линией), то образуется складка *с* на поковке и заусенце (рис. 212, б). Если встреча происходит за пределами ручья, то складка *с* образуется только на заусенце (рис. 212, в) и с ним вместе удаляется (при обрезке).

Гибочный ручей должен быть расположен так, чтобы на штамп по возможности не действовали горизонтальные силы, стремящиеся сдвинуть одну половину штампа относительно другой. Заготовка до начала гибки должна опираться не менее чем на две точки, причем для ее устойчивого положения в местах опор целесообразно иметь корытообразный профиль ручья.

Ширину $b_{гб}$ ручья рассчитывают из условий наибольшей деформации:

$$b_{гб} = \frac{F}{h_{min}} + (10 + 20) \text{ мм.}$$

Увеличение ширины на 10—20 мм учитывает возможную неточность укладки заготовки в ручей.

Недостаточная ширина ручья приводит к вытеканию металла за его пределы или к образованию на поковке следов от кромок ручья, что вызывает брак изделий. Для выполнения гибки по заготовке наносят один-два удара. В некоторых случаях в конце гибки применяют правку или даже обжатие заготовки по всему контуру для получения точных размеров поковки (калибровки).

Пережимной ручей. Применяют для создания местного уширения на заготовке в плоскости, перпендикулярной к действующей при штамповке силе, без существенного изменения общей длины заготовки.

В пережимном ручье можно получить незначительное перемещение металла и вдоль оси, что сопровождается некоторым увеличением поперечных сечений заготовки, набором металла в сечениях, смежных с пережимаемыми.

По форме пережимной ручей похож на подкатной, но в нем заготовка получает только один и реже два удара без кантовки,

а при установке заготовки в окончательный ручей последняя сохраняет то же положение, что и в пережимном ручье. Пережимные ручьи часто применяют при многоштучной штамповке; тогда заготовку пережимают в промежутке между двумя соседними поковками.

Профиль ручья строят по форме эпюры диаметров. На участке пережима заготовки

$$h_b = (0,6 \div 0,75) D_{эп_{\min}}, \quad (83)$$

а на участке набора

$$h_n = (1,05 \div 1,1) D_{эп_{\max}}. \quad (84)$$

Ширину ручья подбирают по наименьшей высоте пережатой заготовки исходя из условия наибольшего ее уширения $\frac{F}{h_b}$.

Ширину ручья, получаемую по расчету, увеличивают на 5—10 мм, чтобы избежать вытекания металла за край ручья при неточной укладке в нем заготовки. Для создания благоприятных условий осевому перемещению металла на горизонтальных участках эпюры диаметров при построении ручья в соответствующих его местах предусматривается уклон на 3—5° по обе стороны от линии раздела.

Формовочный ручей. Применяют для придания заготовке необходимой формы в плоскости, параллельной действующей силе, и частичного набора металла. Во многих случаях обработке в формовочном ручье подлежат поковки, не симметричные относительно одной плоскости. Деформация в ручье совершается за один-два удара. При перекладывании заготовки в окончательный ручей она кантуется на 90°. Сущность построения этого ручья состоит в нахождении такой фигуры, которая вписывалась бы в контур поковки по разему штампа. На некоторых заводах формовочные и пережимные ручьи называют обжимными.

Выемка для клещевины. Большинство ручьев штампов со стороны рабочего места имеет выемку для клещевины (см. рис. 211). Клещевина чаще всего предусматривается при штамповке поковок из штучных заготовок. Металл, идущий на клещевину, представляет собой отход; однако при правильной организации производства объем клещевины рассчитывают исходя из того, чтобы из него можно было впоследствии отштамповать какую-либо поковку.

Клещевая выемка предназначена для размещения в ней части прутка, зажато губками клещей. Кроме того, выемку используют как литник для заливки в полость штампа сплава солей (дающего незначительную усадку при остывании) для проверки с помощью этой отливки правильности изготовления фигуры

штампа. Поэтому такую выемку предусматривают и при торцевой штамповке, когда отсутствует клещевина (см. рис. 207). Солевая отливка необходима для контроля размеров ручья и при наладке обрезных штампов. Клещевая выемка также облегчает захват поковки при удалении ее из ручья. Размеры выемки для клещевины (литника) устанавливают в зависимости от размеров заготовки и поковки.

Отрубной нож. Конструкция отрубного ножа напоминает открытый протяжной ручей, у которого длина рабочего выступа уменьшена до толщины лезвия (как у топора), равного 3—5 мм.

Отрубной нож применяют у молотовых штампов в трех случаях: при отрубке поковки от прутка; при отрубке клещевины и при разрубке поковок, штампуемых из заготовки на две или несколько поковок. Наиболее целесообразно с точки зрения расхода металла применять штамповку от прутка и поочередную с поворотом штамповку заготовки на две поковки. В этих случаях клещевины не требуются.

Отрубной нож располагают на одном из углов штампа (см. рис. 215). Выбор места для отрубного ножа определяется удобством работы, наличием других ручьев и тем, куда нужно подавать поковки. Отрубной нож необходимо устанавливать так, чтобы станина молота не мешала работе. Обычно ось его располагают под углом $\beta = 15 \div 30^\circ$ к боковой стенке штампа.

При отрубке поковки наносят один удар. Сходящиеся плоские лезвия ножей пережимают металл до тонкой пленки, которая под влиянием значительной деформации, действующей в противоположные стороны, разрывается, и поковка отлетает. При износе ножа на лезвии появляются скругления, при рубке таким ножом поковка плохо отделяется от прутка.

Определение переходов при штамповке. К установлению переходов при штамповке и, следовательно, к определению вида ручьев в штампе для данной поковки приступают уже после того, как определен типоразмер потребного оборудования. Разделение поковок на группы и рассмотрение рациональной типовой технологии штамповки поковок каждой группы в связи с серийностью производства позволяют правильно подойти к установлению необходимых переходов.

Относительно просто эти вопросы решают при продольной штамповке поковок типа тел вращения и им подобных. При штамповке поковок удлиненной формы большое распространение получил способ определения переходов на основании анализа эпюр диаметров и сечений. Однако и в этом случае не исключаются элементы субъективного подхода; этим можно объяснить различные решения, принимаемые разными заводами с одинаковым объемом производства при штамповке одинаковых поковок. Некоторые объективные данные для определения переходов при штамповке выражают следующим образом. Работа, необходимая

на преобразование заготовки простой формы в фасонную, при прочих равных условиях пропорциональна величине

$$\alpha = \frac{D_{\text{эпmax}}}{D_{\text{эпср}}},$$

где $D_{\text{эпmax}}$ — наибольший диаметр эпилы диаметров; $D_{\text{эпср}}$ — средний диаметр эпилы, численно равный наименьшему диаметру заготовки $D_{0\text{min}}$, из которой можно изготовить данную поковку.

Если выбрать размер исходной заготовки D_0 в пределах $D_{\text{эпmax}} > D_0 > D_{\text{эпср}}$, то по мере уменьшения D_0 в указанных пределах объем подкатки увеличивается, а объем протяжки уменьшается; при $D_0 = D_{\text{эпср}}$ протяжная операция вовсе отсутствует, так как длина заготовки при этом равна длине поковки. Чем меньше разница между D_0 и $D_{\text{эпmax}}$, тем меньше роль подкатки и тем больше протяжки. Оптимальный диаметр заготовки должен соответствовать наименьшему числу ударов молота, необходимых для придания заготовке фасонной формы, что обеспечивает максимальную производительность и минимальный расход работы.

Расход работы в подготовительных ручьях зависит и от величины пути, на котором происходит перемещение металла в утолщенную часть. Это может быть учтено величиной

$$\beta = \frac{L_{\text{эп}}}{D_{\text{эпср}}},$$

где $L_{\text{эп}}$ — длина эпилы, численно равная длине поковки $L_{\text{пок}}$ или наиболее длинной заготовки $L_{0\text{max}}$ (см. рис. 209). Несомненно, что с увеличением этого отношения возрастает путь перемещения избыточного металла вдоль оси заготовки.

На рис. 213 приведена диаграмма, облегчающая подбор ручьев при поперечной штамповке и составленная по опытным данным в координатах α — β с поправкой на абсолютную массу поковок $G_{\text{пок}}$, поскольку с увеличением их массы условия штамповки изменяются.

В этой диаграмме учтено также влияние конусности стержня поковки введением коэффициента C :

$$C = \frac{D_k - d_k}{L_{\text{ст}}},$$

где D_k — больший диаметр эпилы на участке стержня; d_k — меньший диаметр эпилы на участке стержня; $L_{\text{ст}}$ — длина стержня.

Величина C характеризует форму стержня и влияет на величину горизонтальных составляющих действующих сил.

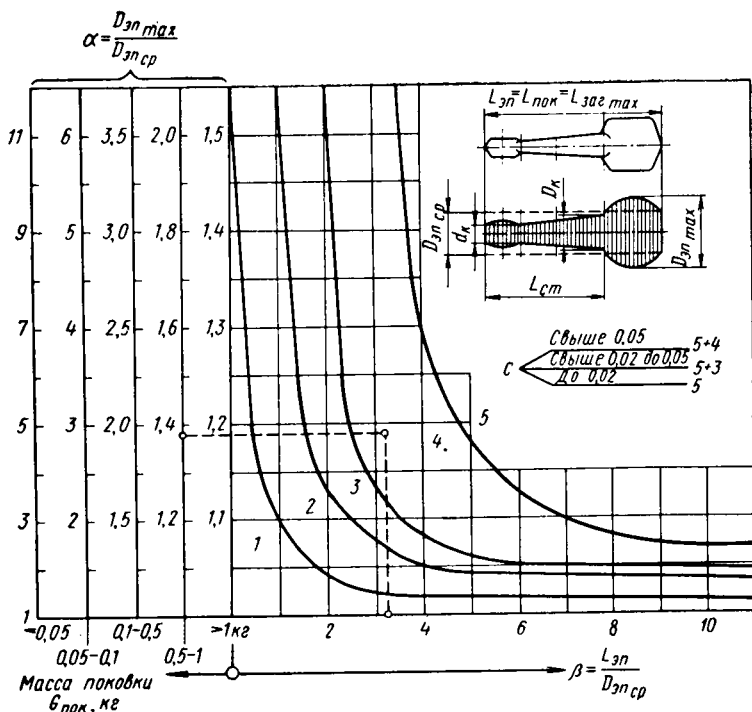


Рис. 213. Диаграмма для подбора подготовительных ручьев:

1 — без подготовительных ручьев; 2 — с пережимным; 3 — с подкатным открытым; 4 — с подкатным закрытым; 5 — с протяжным и комбинацией подкатного и протяжного (по А. В. Ребельскому)

Пример пользования диаграммой. Масса поковки 0,8 кг.

$$\alpha = \frac{D_{\text{эп макс}}}{D_{\text{эп ср}}} = 1,37$$

$$\beta = \frac{L_{\text{эп}}}{D_{\text{эп ср}}} = 3,2.$$

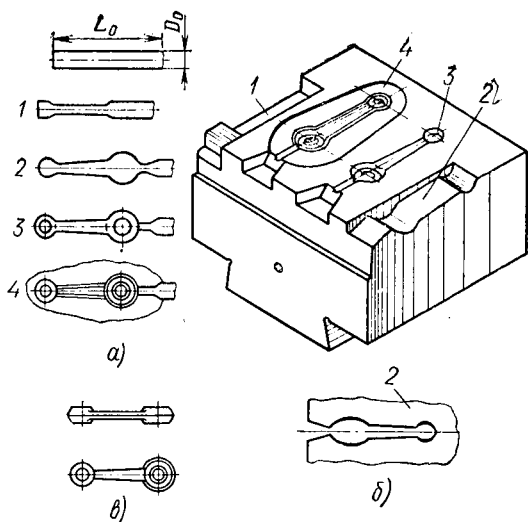
и

Так как точка, отвечающая значениям α и β , находится в области 4 диаграммы, то в качестве подготовительного ручья следует применить подкатной закрытый ручей. Если эта точка расположена в области 5, то ручьи устанавливают после определения коэффициента C . При $C \leq 0,02$ применяют протяжной ручей; при $0,02 \leq C < 0,05$ — протяжной вместе с подкатным открытым и при $C \geq 0,05$ — протяжной вместе с подкатным закрытым ручьем.

В качестве примера технологического процесса многоручьевого штамповки в открытых штампах на молотах рассмотрим переходы при штамповке поковки катуна (рис. 214). Штампуют в четырех ручьях. После отрезки и нагрева мерной заготовки диаметром D_0 и длиной L_0 протягивают ее середину и подкатывают две бобышки в протяжном 1 и подкатном 2 ручьях. Далее следует штамповка в черновом 3 и чистовом 4 ручьях. После обрезки заусенца и прошивки двух отверстий изготовление поковки заканчивается.

Рис. 214. Переходы при штамповке поковки типа шатуна в четырехручьевом открытом штампе;

а — переходы; б — штамп;
в — поковка



Оформление многоручьевого штампа для спаренной штамповки рычагов, а также расположение ручьев многоручьевого штампа показаны на рис. 215.

Поковку типа рычага штампуют за четыре операции: протяжкой, подкаткой, черновой и чистовой штамповкой. Протяжной открытый ручей расположен слева (см. сечение АА), подкатной открытый — справа штампа (см. сечение ББ).

В данном случае число ударов молота при штамповке складывается из трех-четырех ударов при протяжке, трех-четырех — при подкатке, двух — в черновом и двух ударов — в чистовом ручьях. Для штамповки требуется всего 10—12 ударов.

Молоты совершают примерно 50—80 полных ударов в минуту, однако при штамповке полные удары необходимы только в черновом и чистовом ручьях. В подготовительных ручьях следуют неполные удары с одной трети или с половины общей высоты подъема бабы молота, так как полные удары здесь не требуются и опасны из-за эксцентричного расположения этих ручьев. Число неполных ударов в единицу времени больше номинального, однако на подготовку фасонной заготовки уходит не менее половины общего времени штамповки. С технико-экономической точки зрения это может быть оправдано только при среднесерийном производстве поковок. Повышение серийности производства поковок создает условия для замены непроизводительных подготовительных операций вальцовкой, прокаткой периодических профилей и другими операциями специализированного фасонирования заготовок, при которых молот совершает лишь окончательную штамповку в ручьях, расположенных в средней части штампов. Штамповка предварительно подготовленных фасонных заготовок увеличивает производительность в 2 раза и более.

В некоторых случаях для повышения точности процесса целесообразно применять комбинирование различных окончательных ручьев с изменением положения плоскости разреза штампов. На рис. 216 показаны переходы двойной штамповки поковки рычага с применением комбинирования двух открытых окончательных ручьев. После закрытой подкатки симметричную фасонную заготовку 1 обрабатывают в формовочном ручье (за один удар),

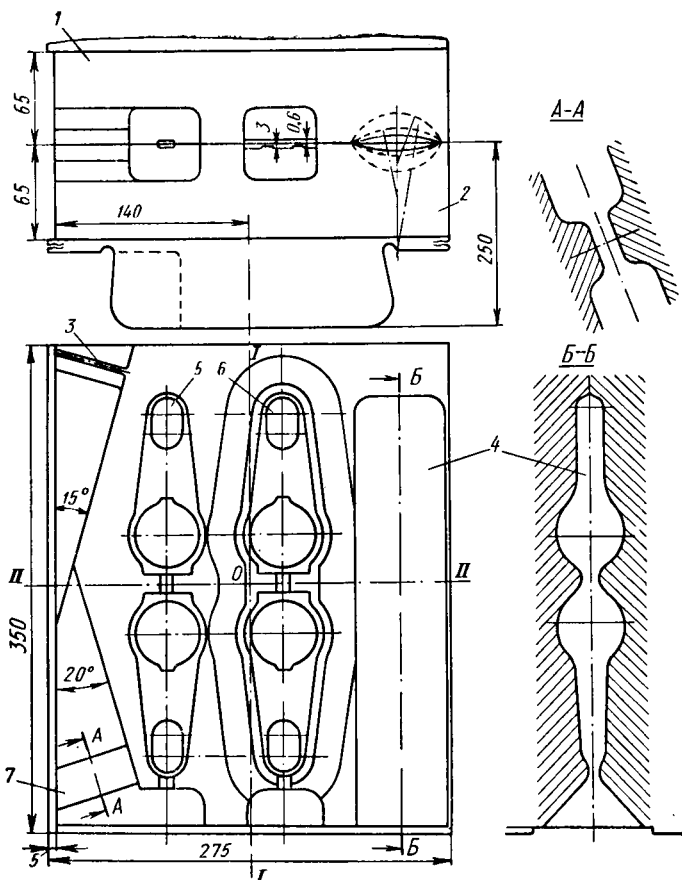


Рис. 215. Расположение ручьев многоручьевого штампа:

1 — верхняя и 2 — нижняя части штампа; 3 — отрубной нож; 4 — подкатной; 5 — черновой; 6 — чистовой и 7 — протяжной ручки; I—I — ось хвостовика; II-II — ось выемки для шпонки; O — центр зеркала штампа

после чего несимметричную заготовку 2 штампуют в чистовом ручье. При этом все оси бобышек поковки расположены в плоскости разреза штампа 3. Затем следует первая обрезка-заусенца, после чего почти готовую поковку кантуют на 90° и штампуют во втором чистовом ручье 4 (доштамповка). Окончательную форму поковка получает после второй обрезки.

Штамповка в закрытых штампах на молотах. В технологическом отношении молоты менее пригодны для штамповки в закрытых штампах, чем прессы. Главные затруднения при внедрении штамповки на молотах в закрытых штампах связаны с отсутствием возможности останавливать движение верхнего штампа

в нужный момент. Нет пока возможности даже определить этот момент, поскольку для заготовок непостоянного объема требуется различная величина хода для окончания штамповки. Дальнейший путь штампа и соответствующая энергия молота тратятся на упругое сжатие поковки, металл которой затекает в зазоры по месту разъема частей штампа и распирает его, иногда доводя до разрушения. Малые радиусы закругления в полости способствуют опасной концентрации напряжений и металл штампа устает или даже становится перенапряженным от действия динамических нагрузок. Особенно опасными являются заготовки наибольшего объема в данной партии. Применение компенсаторов по существу превращает закрытый штамп в штамп для выдавливания и позволяет судить о конце штамповки по соприкосновению частей штампа. Опытные штамповщики регулируют энергию и число ударов с тем, чтобы конец штамповки соответствовал почти полному сближению частей штампа, ориентируясь на звук ударов. Однако применение компенсаторов для многих поковок связано с потерей монолитности молотовых штампов, которые становятся составными. Не получают широкого распространения и выталкиватели молотовых штампов, применение которых позволяет уменьшить уклоны и потери металла с напусками на поковках.

Большая часть уже освоенных процессов (это преимущественно торцовая штамповка поковок небольшой высоты типа тел вращения) представляет собой штамповку в одно-ручьевом штампе с предварительной подсадкой заготовки или без нее (рис. 217). Так как извлечь поковку из полости закрытого ручья, расположенного в нижней части обычного молотового штампа, затруднительно, то иногда глубокие ручьи помещают в верхнем штампе (рис.

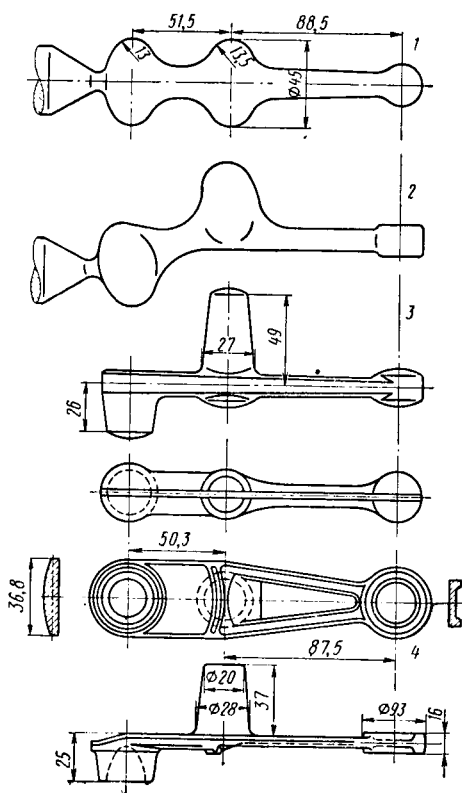


Рис. 216. Переходы двойной штамповки поковки рычага в открытых штампах с промежуточной и окончательной обрезкой заусенцев

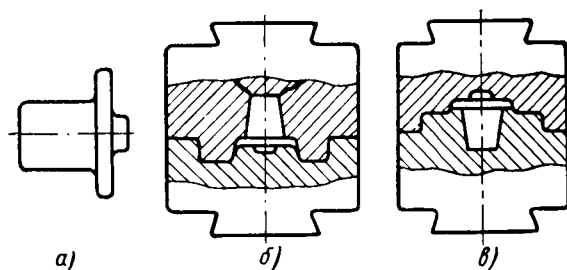


Рис. 217. Типовая поковка (а) и варианты схем закрытых молотовых штампов;

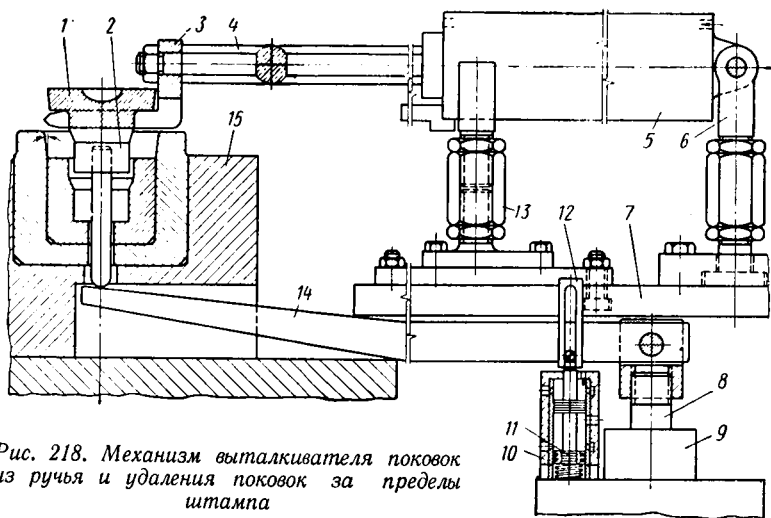
нерациональной (б) и рациональной (в) конструкции

217, б). Это облегчает удаление окалины, которая может заштамповаться в тело поковки, и увеличивает дефектный поверхностный слой металла, удаляемого в стружку. Однако подобную конструкцию штампа нельзя считать рациональной из-за большой глубины полости (на всю высоту поковки), так как это приводит к раскалыванию штампа, и из-за неудобства вкладывания заготовки в ручей. Более рациональным следует считать вариант штампа, показанный на рис. 217, в, у которого плоскость разреза проходит не по торцу, а по телу поковки, что уменьшает глубину полости, при этом улучшаются условия вкладывания заготовки. Для удаления из такого ручья осыпающейся окалины необходимо специальное пневматическое устройство, работающее автоматически.

Нецентральное положение заготовки в ручье приводит к смещению штампов относительно друг друга. Указанные смещения в закрытых штампах не происходят из-за наличия у них замка. Для повышения надежности центрирования частей штампа применяют даже двойные замки. Однако замки не устраняют несимметричности течения металла при нецентральном положении заготовки в ручье или неправильной форме заготовок. Для лучшего распределения металла внутри ручья его полость должна быть хорошо смазана. Это позволяет работать с уменьшенными штамповочными уклонами, которые при штамповке в закрытых штампах приводят к большим отходам, чем при штамповке в открытых штампах.

Для поковок, расположенных в относительно неглубоких полостях штампов, может быть использована конструкция обычного молотового штампа, так как возможна штамповка с относительно небольшими напусками. В таком штампе штампуют за один-два удара. Об окончании штамповки в закрытых штампах необходимо судить не по звуку при соударении штампов, а по заполнению углов, находящихся в глухой части полости ручья¹ и не попавших в разъем штампа. В плоскости разреза штампа, в наиболее удаленном месте от оси поковки, располагают компенсатор в виде кольцевой выемки, образованной за счет скругления

¹ С этой целью уже применяют специальные сигнализаторы в виде утапливаемых игл, находящихся в отверстиях, которые выходят в углы штампа.



кромки штампа (радиус 5—15 мм). В случае переполнения полости штампа металл затекает в эту выемку.

Для того чтобы штамповка в закрытых штампах была к тому же и малоотходным процессом, необходимо уменьшить напуски. С этой целью, особенно в случае поковок с глубокими полостями ручьев, целесообразно применять выталкиватели (рис. 218).

В данном случае работа нижнего выталкивателя сочетается с работой механизма для удаления готовых поковок. Движение системы обеспечивает пневматический цилиндр 9 выталкивающего механизма, шток 8 которого шарнирно связан с рычагом 14, проходящим к вертикальной оси ручья через боковой паз в нижнем штампе 15. По окончании штамповки нажатием на педаль включают пневматический цилиндр (на рис. 218 не показан). При движении поршня пневматического цилиндра и штока 8 вниз рычаг 14 поднимает стержень, на конце которого укреплен вставка-выталкиватель 2 ручья, и поковка оказывается извлеченной из штампа. Поковку удаляют и сбрасывают в лоток или на транспортер с помощью следующего устройства. На крышке цилиндра 9 установлен переключатель 10, золотник 11 которого соединен с серьгой 12. На плите 7 установки укреплены две стойки 6, на которых горизонтально расположен второй пневматический цилиндр 5 управления движением съемной вилки 3, связанной болтовым соединением со штоком 4 цилиндра 5. Положение цилиндра 5 регулируется муфтой 13.

Одновременно с извлечением поковки из штампа при движении рычага 14 вниз он опускает серьгу 12 и связанный с ней золотник 11 переключателя. При этом сжатый воздух попадает в правую часть цилиндра 5 и поршень цилиндра со штоком 4 и вилкой перемещаются влево, устанавливая последнюю ниже уровня фланца поковки. При освобождении педали пневматического выталкивателя воздух подается под поршень цилиндра 9, шток 8 перемещается вверх, вставка-выталкиватель 2 устанавливается в исходное положение, а поковка 1 остается на вилке 3. Незадолго до окончания перемещения штока 8 в верхнее положение рычаг 14 через серьгу 12 поднимает золотник 11 и сжатый воздух через переключатель 10 поступает в левую часть цилиндра 5. При этом поршень со штоком 4, вилкой 3 и поковкой 1 движутся вправо до встречи поковки со сбрасывателем, после чего поковка сталкивается на лоток или транспортер. Верхние выталкиватели у штампов паровоздушных молотов неизвестны.

тем — малую головки (сечение *ББ*), причем заготовку удерживают за ту часть, которая не деформируется в данном ручье. Угловые замки штампа не препятствуют размещению подготовительных ручьев. Один из них (сечение *ВВ*) расположен непосредственно на выступах замка.

Из приведенного примера видно, что технология штамповки в закрытом штампе без клещевых концов у заготовки хотя и целесообразна (с точки зрения экономии металла), но сложнее штамповки в открытом штампе.

Сравнение штамповки в открытых и закрытых штампах.

При штамповке в открытом штампе плоскость его разреза обычно проходит посередине высоты поковки в том месте, где металл, осаживаемый при штамповке, получает наибольшую поперечную деформацию. Металл, вытекающий в канавку толстым слоем, испытывает препятствия от боковых стенок штампа, а также задерживается в канавке силами трения. В закрытом штампе плоскость разреза проходит по торцу поковки. Это сопряжено с возникновением более значительного гидростатического давления в результате подпора стенок полости, что приводит к большему удельному усилию, чем в предыдущем случае. Однако на расход энергии влияет величина общего усилия. При штамповке в открытом штампе необходимо учитывать увеличение площади в связи с образованием заусенца. В табл. 35 приведены данные, характеризующие увеличение площади поковки в плоскость разреза с учетом заусенца, величина которого принимается нормальной для поковок, штампуемых в автотракторной промышленности.

При штамповке в открытом штампе усилие на деформацию возрастает в связи с наличием заусенца. Если принять, что он обжимается только в пределах порога и не обжимается в магазинной части канавки, то увеличение площади поковок составит величины, приведенные в табл. 35.

Влияние заусенца на увеличение усилия штамповки тем относительно больше, чем меньше габаритные размеры поковки в плане. Усилие штамповки возрастает от наличия заусенца интенсивнее,

Таблица 35

Увеличение площади проекции поковок в связи с наличием заусенцев

Диаметр поковки $D_{\text{пок}}$, мм	Площадь F проекции поковки, мм ²	Ширина порога, мм	Диаметр поковки с учетом заусенца, мм	Площадь F_1 проекции поковки с заусенцем, мм ²	Отношение $\frac{F'}{F}$
40	1 256	6	52	2 123	1,70
66	3 420	7	80	5 026	1,50
106	8 820	8	122	11 690	1,33
200	31 415	10	220	33 013	1,21
330	85 540	12	354	98 423	1,15

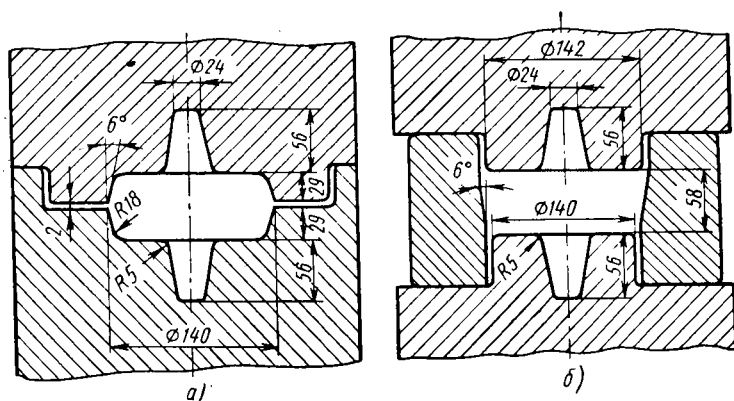


Рис. 220. Форма полости штампа для одной и той же поковки:
а — открытого; б — закрытого

чем это выражено отношением $\frac{F'}{F}$, так как сопротивление деформированию быстро остывающего тонкого заусенца больше, чем у медленно остывающей поковки. Таким образом, можно ожидать, что при штамповке относительно небольших поволок затрачиваемая энергия на штамповку будет меньше при применении закрытого штампа. Это подтверждается экспериментами даже для поволок диаметром более 100 мм.

На рис. 220 дано сечение открытого и закрытого штампов для поковки типа шестерни диаметром 140 мм с двусторонней ступицей. Поковку штамповали из заготовки массой 8,5 кг, высотой 95 мм и диаметром 120 мм на штамповочном молоте простого действия с массой падающих частей 2000 кг. Заготовки были изготовлены из низкоуглеродистой стали (0,09% С) и из хромоникелевой стали (0,32% С, 0,68% Сг, 3,47% Ni). Данные экспериментов приведены в табл. 36.

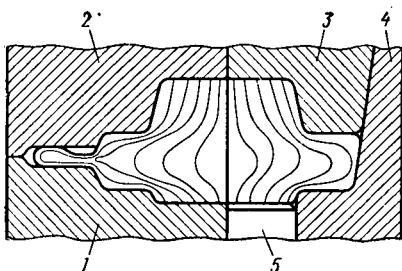
Таблица 36

Сравнение штамповки в открытом и закрытом штампах (к рис. 220)

Тип штампа	Сталь	Температура штамповки, °С	Число уда- ров	Работа де- формации, кДж	Заполнение углублений в штампе, мм	
					верх- нем	ниж- нем
Открытый	Низкоуглеродистая	1150	4	184	34,1	28,5
	Хромоникелевая	1140	4	184	31,0	26,0
Закрытый	Низкоуглеродистая	1140	3	141	54,5	44,0
	Хромоникелевая	1130	3	141	41,0	33,0

Рис. 221. Расположение волокон в поковках, штампуемых в открытых (левая часть) и закрытых (правая часть) штампах:

1 и 2 — нижняя и верхняя части открытого штампа; 3 и 4 — верхняя и нижняя части закрытого штампа; 5 — выталкиватель



Работа деформации (Дж)

$$A = \frac{GW^2}{2},$$

где G — масса падающих частей, кг; W — скорость падения бабы в момент удара, м/с.

Указанные данные свидетельствуют о лучшем заполнении закрытого штампа при меньшей работе, затрачиваемой на штамповку. Штамповка в открытом штампе с образованием тонкого заусенца значительно повышает усилия штамповки и соответственно расход энергии.

Поковки, штампуемые в закрытых штампах, более высокого качества, чем в открытых, за счет лучшего расположения волокон, отсутствия местного интенсивного течения металла в заусенец и перерезанных волокон в месте его удаления (рис. 221). К преимуществам штамповки в закрытых штампах можно также отнести большую точность размеров поковок в плоскости их разреза.

Иногда отмечают в качестве недостатка низкую стойкость закрытых штампов, однако понижение стойкости штампов, как уже было выяснено, в значительной степени зависит от использования отдельных заготовок увеличенного объема. При отсутствии компенсаторов для размещения излишка объема металла заготовок и средств контроля готовности поковки (по автоматическому контролю высоты поковок и обнаружению заполняемости углов полости) последние удары молота при заполненном металлом ручье раскалывают штамп.

Для штамповки в закрытом штампе требуются заготовки более точных объемов, чем для открытого штампа, так как объем поковки в первом случае определяется объемом заготовки за вычетом угара металла и небольшого заусенца (менее 1%). Однако это обстоятельство нельзя рассматривать как недостаток. Напротив, более точная дозировка заготовок по объему экономит металл и повышает технический уровень кузнечно-штамповочного производства.

Элементы конструкции молотовых штампов. Штампы для горячей штамповки могут быть подразделены на две группы: цельноблочные массивные и сборные.

При штамповке на молотах применяют массивные штампы, изготавливаемые из цельных кубиков. Все большее распространение получают массивные молотовые штампы со вставками.

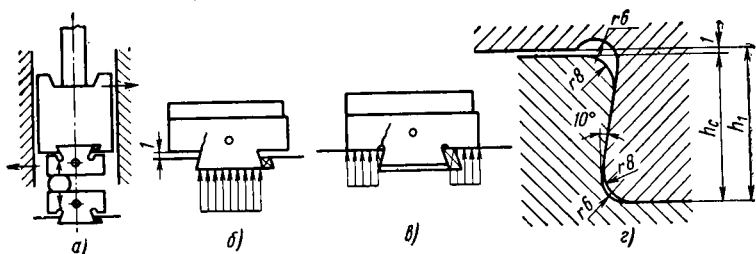


Рис. 222. Крепление молотового штампа

Большие скорости в момент соприкосновения штампов с металлом (до 9 м/с у паровоздушных молотов) обуславливают высокие требования не только к конструкции штампов, но и к устройству крепления штампов на молотах. Вполне надежно применяющаяся в качестве единственной для всех типоразмеров паровоздушных молотов клиновья система крепления массивных штампов (см. рис. 188)¹.

Верхнюю часть штампа крепят по ласточкину хвосту клином к бабе, нижнюю часть — тоже клином к подушке, которую, в свою очередь, закрепляют на шаботе молота. Шпонки предотвращают перемещение частей штампов вдоль клиньев. Подушка (подштамповая плита) с креплением по форме ласточкина хвоста представляет собой промежуточную крепежную деталь, предохраняющую шабот от быстрого износа. Ремонт легко снимаемой плиты значительно проще, чем ремонт (прострожка) шабота, масса которого превышает в 20—30 раз массу падающих частей молота.

Перемещения подштамповой плиты вдоль клина предотвращаются не с помощью шпонки, а самой плитой, имеющей особую конструкцию. Правая боковая наклонная часть плиты выполнена под тупым углом γ . Эта часть плиты входит в соответствующий вырез в шаботе и исключает перемещения плиты вдоль клина при его забивке.

Обеспечить одновременную опору штампов на хвостовик и боковые плоскости трудно из-за несовпадения фактических допусков на механическую обработку этих поверхностей, поэтому штампы опираются только на хвостовики. При этом заплечики штампов приподняты над поверхностью опоры на 1,0 мм. На рис. 222 приведена схема нагрузки штампа при эксцентричном расположении заготовки (например, случай осадки на площадке, рис. 222, а). Если штамп имеет опору на хвостовик, но выполнен без достаточно большого радиуса скругления при переходе на его горизонтальную плоскость, то возможна поломка штампа из-за концентрации напряжений в этом месте (рис. 222, б).

¹ Система крепления молотовых штампов (см. ГОСТ 6039—71).

При опоре штампа на его боковые плоскости появляются трещины, начинающиеся от внутренних углов, образуемых хвостовиком (рис. 222, в), даже если имеются скругления, устраняющие концентрацию напряжений. Это может произойти при износе опорной поверхности под хвостовиком штампа более чем на 1 мм. В месте перехода от горизонтальной плоскости к хвостовику должно быть скругление; место сопряжения штампа с крепежной деталью показано на рис. 222, г.

Для контроля правильности совпадения частей полости штампа черновые поверхности кубиков подвергают строжке на глубину, например, 5 мм по двум граням и на высоту 50—70 мм от лицевой поверхности (см. рис. 215, размер 65 мм). Образующиеся при этом углы используют для указанного контроля, поэтому они называются контрольными углами. Обработанные грани служат базовыми поверхностями при разметке зеркала штампа перед изготовлением ручьев. При вычерчивании штампов расстояния до осей ручьев проставляют от этих поверхностей. На штамповых кубиках обычно имеют транспортировочные отверстия (см. рис. 186).

Для крепления штампов (рис. 223) применяют односторонние клинья с уклоном 1 : 100 ($0^{\circ} 35'$) вдоль оси. Для упрощения изготовления штампов уклон клина предусматривают на сторону бабы (верхний штамп) или подштамповой плиты (нижний штамп). Для того чтобы клинья высотой h не выталкивались при работе из гнезд в направлении разъема штампа, а, наоборот, прижимались к основанию этих гнезд, они имеют уклон и в сечении, для чего одна их грань наклонена к вертикали под углом 10° , а другая — под углом 12° . На рис. 223, а изображены рекомендуемые

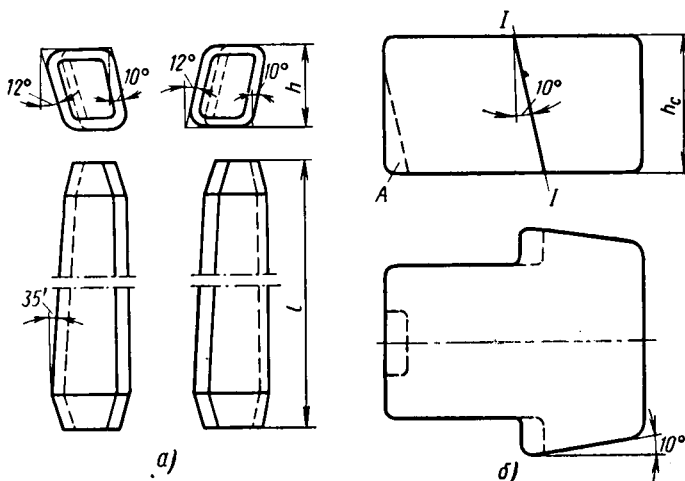


Рис. 223. Крепежные клинья (а) и шпонки (б) для предотвращения смещения штампа (по сечению I—I шпонки работают на срез)

для применения по условиям техники безопасности левые клинья. Правые клинья не применяют, так как выступающие части верхнего клина длиной l могут травмировать штамповщика, находящегося обычно справа от штампа и ожидающего очередную заготовку, поступающую к нему из печи (слева от молота). На некоторых заводах применяют верхний левый и нижний правый клинья, что дает возможность взаимозаменять верхние и нижние части штампа. Концы клиньев закаливают на длине 80—100 мм для безопасной работы с ними (для стали 40 *HV* 363—321).

Форма шпонок (рис. 223, б) принята исходя из следующих соображений. Прямоугольная часть шпонки входит в хвостовик штампа. Часть шпонки с наклоненными гранями входит в бабу молота (или в подштамповую плиту), причем наклон граней способствует удалению шпонок, которые обычно застревают в снимаемом штампе; это делает более удобным их демонтаж. Клиновья выемка A в шпонке необходима для удаления зубилом шпонки, если она крепко сидит в пазах.

Шпонки должны быть изготовлены с точными размерами. Высокая шпонка приводит к поломке штампа, так как штамп опирается при этом только на шпонку. Низкая шпонка приводит к увеличению удельного давления на стенки гнезд для шпонок при забивке клиньев и вследствие горизонтальных сдвигающих сил при штамповке. Высота h_c шпонки и клина должна быть на 1 мм меньше соответствующей высоты паза h_1 (см. рис. 222).

Высокая стойкость штампов приводит к необходимости повышения их стойкости. Один из простых способов возобновления работы штампов заключается в перестрожке их, для чего штамповые кубики должны иметь соответствующий припуск по высоте. Высокие штамповые кубики уменьшают ход молота и соответственно уменьшают энергию удара. Сумма высот верхнего и нижнего штампов должна превышать минимально допустимую высоту штампового пространства после запланированного числа перестрожек штампа. Если суммарная высота штампа меньше допустимой величины для данного молота, то может возникнуть опасность выбивания нижней крышки цилиндра молота.

Обычно ориентируются на возможно большее число перестрожек штампа (три-четыре для глубоких и до 10 для неглубоких ручьев, причем каждый раз снимается от 10 до 25 мм).

Следует иметь в виду, что хотя увеличение массы падающих частей молота (не более чем на 25% от номинальной величины за счет более тяжелого штампа) сопровождается увеличением мощности молота, однако потери от уменьшения величины хода и числа ходов молота в единицу времени обычно более значительны. При увеличении массы падающих частей сверх номинального может снизиться производительность работы, так как при данном давлении пара (воздуха) время подъема подвижных частей молота увеличивается, а возможное число ударов в единицу времени уменьшается.

Штамповые кубики. Заготовки для штампов в виде кованых болванок в форме параллелепипеда называют штамповыми кубиками¹.

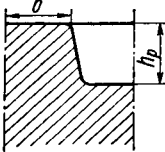
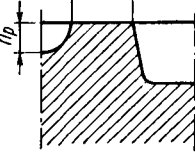
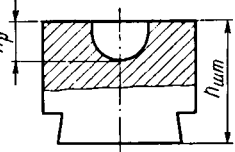
Размеры штамповых кубиков подбирают в соответствии с принятым числом, размерами и расположением ручьев. При этом проверяют величину площади соударения штампов. Опытном установлено, что во избежание смятия при соударении площадь лицевой поверхности штампов должна составлять не менее 300 см² на 1 т массы для молотов с массой падающих частей более 2 т и 250 см² для молотов с меньшей массой падающих частей. Следует стремиться к тому, чтобы по обе стороны любой линии, проведенной через середину зеркала штампов (во избежание их перекоса), площади, свободные от гравировки, были примерно равны между собой.

Размеры штамповых кубиков стандартизованы. Наиболее употребляемые размеры кубиков по высоте, ширине и длине следующие: от 200×225×275 до 400×500×650 мм. На штамповом кубике должны быть указаны ось слитка (головная и хвостовая части), направление выхода волокон, марка стали. Указание о направлении волокон используют для перпендикулярного размещения осей удлинённых полостей ручьев. Наибольшее разрывающее усилие должно быть направлено вдоль волокон. Недопустимо вертикальное расположение волокон в кубике, при котором скалывающие напряжения от нецентральных нагрузок совпадают по направлению с волокнами; это приводит к поломке штампов. Для получения равномерного износа и одинаковой прочности в разных направлениях желательно иметь кубики с перепутанными волокнами, для чего при их ковке многократно чередуют осадку с протяжкой. Штампы, прокованные таким способом, не имеют резко выраженной анизотропии, вызванной направленностью волокна.

Штампы обычно проектируют так, что по габаритным размерам они вписываются в размер бабы молота. В исключительных случаях для очень длинных поковок применяют штампы, выступающие (вперед и назад) за пределы опоры в бабе. При ударах по заготовке консольные части такого штампа упруго отгибаются, и поковка оказывается на концах большей высоты (недоштампована). Для устранения этого недостатка увеличивают в допустимых пределах массивность штампа. Однако при применении штампов большой длины эти возможности весьма ограничены, поэтому на практике уменьшают высоту в тех частях ручья, в которых получается недоштамповка. В литературе описан случай, когда приходилось уменьшать глубину ручья на краях штампов для коленчатых валов более чем на 4 мм.

¹ Выражение «штамповые кубики» условно, так как они обычно имеют форму параллелепипеда, а не куба.

Стенки с минимальной толщиной и высота молотового штампа

Глубина ручья h_p , мм	Минимальная толщина δ стенки, мм		Минимальная высота $h_{шт}$ штампового кубика, мм
	между ручьем и краем штампа	между соседними ручьями	
			
6—16	12—32	10—25	100—125
17—40	33—56	26—40	126—200
41—100	57—109	41—79	201—314
101—160	110—160	80—110	315—400

Расположение ручьев на зеркале штампов. При стремлении к возможно более экономичному использованию зеркала штампов сталкиваются с трудностями, заключающимися в получении стенок достаточной прочности между ручьями и на краях штампа.

Установленные на практике расстояния между отдельными ручьями приведены в табл. 37. Чем глубже ручей, чем меньше радиус закругления дна полости и уклон соседней полости, тем больше должна быть толщина стенки штампа.

Центром зеркала штампа считается пересечение осей хвостовика и сухаря. При необходимости центр зеркала штампа может быть смещен относительно оси, проходящей через геометрический центр кубика (см. рис. 215). Однако центр зеркала штампа должен совпадать с осью штока, а при отсутствии чернового ручья — с осью, проходящей через середину чистового ручья. Это требуется для лучших условий работы штампа и штока молота.

При наличии чернового и чистового ручьев в одном штампе приходится допускать эксцентричное приложение на него максимальных нагрузок. На практике поступают следующим образом: устанавливают (примерно), на сколько сопротивление деформации в одном ручье больше, чем в другом, и в соответствии с этим размещают ручьи. Чаще всего расстояние от центра зеркала штампа до оси чистового ручья меньше, чем до чернового (в 2—3 и даже в 4 раза), но и в этом случае центр зеркала штампа должен совпадать с осью штока молота (см. пересечение I—I и II—II на рис. 215).

Для несимметричных в плане поковок обычно трудно определить середину ручья (центр давления). Для приблизительных

расчетов за середину принимают центр тяжести площади проекции поковки на плоскость разреза штампа. Расположение центра давления соответствует центру тяжести объема, соответствующего эпюре нормальных напряжений в конце штамповки.

Если известны размеры отдельных ручьев, расстояния между ними и до края штампа, а также высота штампа, то можно найти габаритные размеры необходимых кубиков. Хвостовики штампов в процессе работы образуют углубления в бабе и в подушке; эти углубления необходимо устранять, в противном случае, если следующий штамп имеет большие размеры вдоль хвостовика, чем предыдущий, то он оказывается подвешенным на двух опорах и может разрушиться в процессе работы.

Методы уравнивания сдвигающих усилий в штампах. Во многих случаях при штамповке возникают горизонтальные силы, смещающие верхнюю часть штампа относительно нижней, что приводит к браку поковок, поломке штока и повышенному износу направляющих бабы молота.

Появление сил, сдвигающих верхний штамп, происходит по следующим причинам (рис. 224). Изогнутая поверхность разреза штампа приводит в конце штамповки при образовании заусенца к горизонтально направленным силам P_x (рис. 224, а). Сила P_x появляется и при плоской поверхности разреза штампа, если она не перпендикулярна оси молота или если эта ось не проходит через центр давления ручья. Эти силы в нижней и верхней частях штампа направлены в разные стороны. Поскольку нижняя часть штампа жестко закреплена на шаботе, она остается неподвижной. Верхняя же часть штампа вместе с бабой молота может смещаться в сторону за счет зазоров между направляющими молота и бабы, а также за счет упругих деформаций штока и других деталей молота.

В другом случае (рис. 224, б) плоский разрез штампа расположен горизонтально, однако полость имеет наклонные поверх-

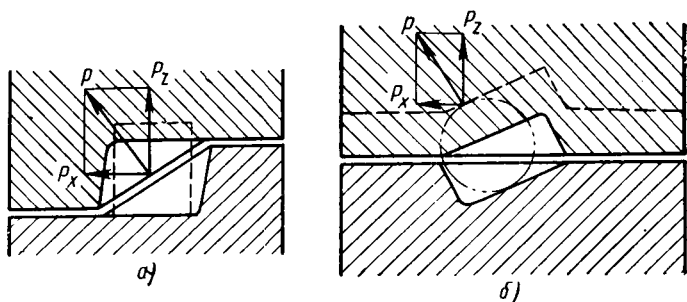


Рис. 224. Схемы, поясняющие возникновение горизонтальных сдвигающих сил в штампах:

P , P_x и P_z — соответственно нормальная сила по разрезу штампа и ее горизонтальная и вертикальная составляющие

ности, которые с момента соприкосновения с заготовкой (т. е. в начале штамповки) вызывают горизонтальные неуравновешенные силы P_x , смещающие верхнюю часть штампа относительно нижней. Если площадь поверхности полостей верхней и нижней частей штампа неодинакова, или они с разным наклоном, то результирующая горизонтальная составляющая оказывает на штамп сдвигающее действие. Очевидно, смещение верхней части штампа может быть вызвано и соответствующей формой заготовки или даже неправильной ее установкой в ручье. Горизонтальные сдвигающие силы могут быть направлены вдоль или поперек фронта штампа (в любом горизонтальном направлении).

При продольной штамповке поковки, имеющей форму конуса, горизонтальные силы в нижней и верхней частях штампа направлены в одну и ту же сторону. Однако горизонтальные силы не смещают нижний штамп, это происходит, как и в других случаях, за счет верхнего штампа. Если смещение одной части штампа относительно другой и не приводит к браку поковок (формы или размеров), то ухудшает механические свойства металла по месту сдвига одних волокон металла относительно других.

Для предотвращения смещения один из штампов выполняют с выступом, который упирается в боковую стенку другого штампа. Это устройство называется замком. Другой прием состоит в том, что ручей выполняют с таким наклоном относительно плоскости разреза штампа, который приводит к уравниванию силы P_x в пределах полости ручья, и смещение предотвращается.

Расположение изогнутых заготовок в процессе штамповки в уравновешенном штампе (без применения специального замка) определяют из тригонометрических соотношений. Если предположить, что равномерное распределение нагрузки на проекции поковки соответствует равномерному распределению нагрузки и на каждой полке поковки, то для поковок, изогнутых под углом β и имеющих короткую полку l_1 и длинную полку l_2 (рис. 225, а), действительно следующее соотношение:

$$\frac{l_1}{l_2} = \operatorname{tg} \gamma_2 \operatorname{ctg} (\beta + \gamma_2); \text{ при } \beta = 90^\circ \operatorname{tg} \gamma_2 = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}},$$

где γ_2 — угол наклона длинной полки l_2 к плоскости зеркала штампа.

Для соответствующего угла γ_1 наклона короткой полки l_1

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}.$$

Правильность этих выражений подтверждается следующим образом: при $l_1 = l_2$ и $\beta = 90^\circ$ получаем $\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \gamma_2 = 1$, откуда следует $\gamma_1 = \gamma_2 = 45^\circ$, а $\gamma_1 + \gamma_2 + \beta = 45^\circ + 45^\circ + 90^\circ = 180^\circ$.

Если не удастся уравновесить горизонтальные силы изменением положения поковки относительно плоскости разреза

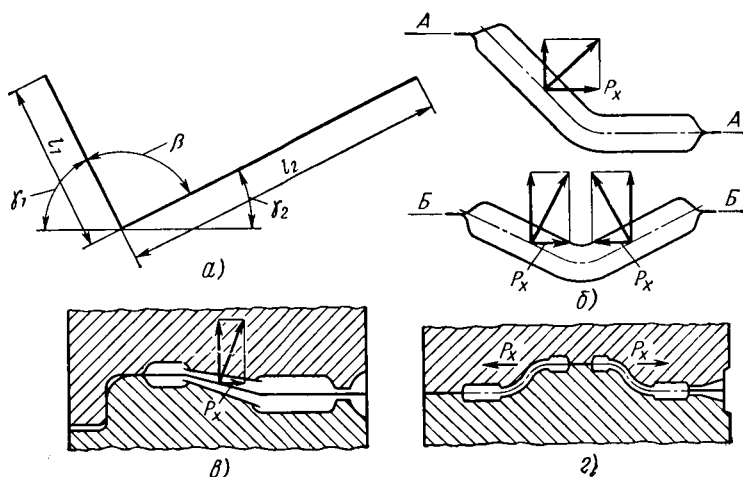


Рис. 225. Способы уравнивания сдвигающих сил в штампах:
 АА и ББ — линии разреза штампов; P_x — сила, сдвигающая штамп

(рис. 225, б), то устранить смещение штампов можно, используя в них односторонний замок (рис. 225, в). Если позволяют габаритные размеры штампа и размер молота, то лучшим способом уравнивания горизонтальных сил будет сдвигание поковок при совместной штамповке (рис. 225, г). Полости штампов нужно располагать так, чтобы одинаковые горизонтальные силы действовали в разных направлениях. На рис. 226 изображены контуры круглого (рис. 226, а), углового (рис. 226, б) и двустороннего замков (рис. 226, в). Замки усложняют конструкцию штампов и увеличивают расход работы на штамповку, но в тех случаях, о которых говорилось, их применение необходимо.

Профиль замка, выполненного под прямым углом, показан на рис. 226, г. Применяют замки и с тупым углом; последнее конструктивное решение менее удачно, так как при этом части штампов устанавливают на свои места лишь в последний момент штамповки. Замки с наклоном в боковой поверхности можно рекомендовать лишь в тех случаях, когда смещение штампов вызывается действием их друг на друга в момент образования заусенца (см. рис. 224, а).

Высота выступа замка $h_{вс}$ (рис. 226, г) должна быть такой, чтобы к моменту появления сил P_x , сдвигающих штамп, замок уже действовал. Чем больше высота замка, тем сложнее изготовить штамп, особенно если штамп не имеет прямой линии разреза. Выступающие части замка могут быть в нижней или верхней частях штампа. Для удобства извлечения во время штамповки окалины желательно наружные выступающие части замка выполнять в верхней части штампа (как на рис. 226, г). Край по-

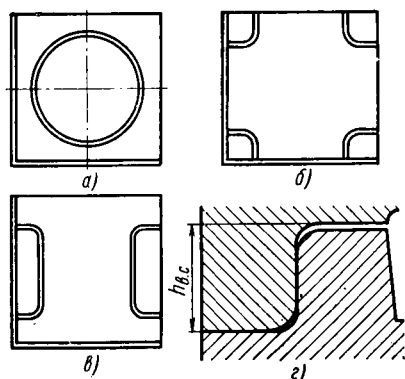


Рис. 226. Форма замков молотовых штампов

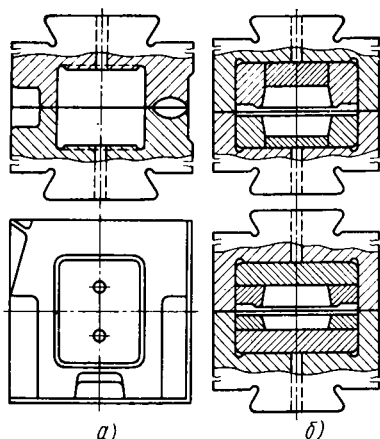


Рис. 227. Штампы со вставками:
а—для поковок удлиненной формы; б—для торцевой штамповки

ловины штампа, расположенные против выступов замка на другой его половине, не работают и размер этой половины штампа может быть уменьшен. При необходимости выступ замка в плане может быть увеличен и на нем могут быть расположены подготовительные ручки.

Молотовые штампы со вставками. Расход дорогостоящей штамповой стали в штамповочных цехах составляет 1—2% от массы выпускаемой продукции. Стремление продлить срок службы штампов привело, в частности, к использованию вставок молотовых штампов.

Призматические вставки применяют для штамповки длинноосных поковок (рис. 227, а), а для торцевой штамповки вставки могут быть цилиндрическими. Вставным может быть, например, быстроизнашиваемый знак, чистовой, а при необходимости — черновой и чистовой ручки. Кубики для размещения в них вставок могут быть литыми и коваными. Кубики можно изготавливать из стали 45.

На рис. 227, б показаны два варианта вставок, сделанных из двух частей для повышения их стойкости. В местах вероятного образования трещины, в углах полости, обеспечивают стык частей вставок, что исключает опасную концентрацию напряжения. Стойкость вставок выше цельных штампов из-за того, что вставки имеют предварительные напряжения сжатия. Опасные растягивающие напряжения, приводящие к трещинам (в том числе к разгарным), появляются при больших напряжениях и позже, чем при использовании цельного штампа, не имеющего предварительных напряжений. Вставки небольшого объема целе-

сообразно изготовлять из более дорогих штамповых сталей и этим еще больше увеличивать их стойкость.

Так как извлечение вставок из штампового кубика представляет собой сложную операцию, некоторые заводы применяют постоянные вставки, которые особенно удобны при одноручевой штамповке. В штамповый кубик (литой или кованный) из углеродистой стали с помощью горячей посадки помещают вставку из легированной стали и не извлекают ее после износа. При этом ручей и весь штамп ремонтируют так же, как и цельноблочный штамп.

Если вставка открытого штампа выполнена на уровне зеркала штампа и оседает в процессе работы, то высота поковок увеличивается (недоштамповка). Лучше конструкция вставок, выступающих над уровнем зеркала штампа, но работа с ними осложняется из-за опасности смятия их при соударении штампов. При переточке вставок величина снятого слоя металла компенсируется подкладками. Более подробно вставки молотовых штампов описаны в гл. IX.

Технологическая применимость молотов различных типов. Приведенные выше материалы относятся к штамповке на паровоздушных молотах двойного действия. Помимо этих молотов, давно работающих в кузнечно-штамповочных цехах, используют (в значительно меньшем числе) молоты с доской. Молоты с доской относительно тихоходны, поэтому при большом числе ударов (при штамповке поковок сложных конфигураций) металл остывает быстрее, чем заканчивается процесс. Наиболее приемлемыми для штамповки на молотах с доской являются поковки простой конфигурации, штампуемые в одноручевом штампе. При этом, как и у других молотов простого действия, штамповочные уклоны должны быть немного большими, чем в штампах молотов двойного действия.

К преимуществам молотов с доской относятся дешевизна изготовления, простота конструкции и управления, а также малогабаритность в плане. Их успешно применяют для правки поковок. Небольшая стойкость досок снижает достоинства молотов рассматриваемого типа. Большая эксцентричность, вызванная формой поковки, уменьшает стойкость досок и ускоряет разладку молота. Крепление штампов и расположение ручьев в них для молотов с доской такие же, как и у обычных молотовых штампов.

Бесшаботные молоты долгое время не получали распространения из-за конструктивных недостатков. Принцип работы бесшаботного молота весьма рационален. Возможность деформирования металла при встречном движении верхнего и нижнего бойков молота снижает потери энергии на сотрясение фундамента и грунта, позволяя изготовлять молоты с фундаментами неглубокого залегания и на металлических конструкциях, а при необходимости даже выше уровня пола. Эксплуатационные неудобства, связанные с подвижностью заготовки в процессе штамповки, как

показывает опыт, являются несущественными. Отечественная конструкция бесшаботного молота (ЦНИИТМАШ) имеет короткий самостоятельный ход нижней части и большой величины ход верхней части штампа.

На отечественных заводах и за рубежом находятся в эксплуатации различные скоростные молоты, развивающие скорость в момент соприкосновения с заготовкой до 20—30 м/с. Осваиваемый отечественной промышленностью ряд скоростных молотов имеет энергию удара от 25 до 630 кДж, а в перспективе создание молотов до 1000 кДж. Эти бесшаботные молоты работают на сжатом азоте давлением 10—30 МН/м². Продолжительность цикла 4,5—5 с у небольших молотов и до 11—13 с у крупных молотов. Усилие выталкивателей соответственно 80—500 кН.

За рубежом получили некоторое распространение горизонтальные молоты с двусторонним ударом, так называемые импакторы. Для удержания заготовки перед соударением частей штампа применяют специальные механизмы. Система управления этими молотами срабатывает лишь в том случае, если заготовки правильно расположены по отношению к штампам. Скорость удара импактора достигает сотен метров в секунду.

Технологические преимущества и недостатки молотов. Молоты различных конструкций применяют для горячей штамповки преимущественно в открытых штампах. Наиболее распространены паровоздушные молоты двойного действия.

К основным преимуществам штамповки на паровоздушных молотах относятся следующие.

1. Возможность регулирования энергии удара. Слабые удары могут быть нанесены с повышенной частотой.

2. Деформирование в одном ручье за несколько ударов (особенно важно для штамповки в окончательном ручье). В связи с этим наиболее крупные поковки штамную преимущественно на молотах. Влияние больших скоростей деформации при штамповке на молотах благоприятно сказывается на заполнении сложного рельефа штампа.

К недостаткам этих молотов относятся следующие.

1. Неэкономичность в эксплуатации при штамповке поковок мелких и средних объемов. Высокая стоимость молотовых установок связана с использованием котельных или компрессорных станций и громоздких фундаментов.

2. Малый к. п. д. (не более 3%).

3. Относительно невысокая производительность работы, особенно при многоручьевой штамповке, когда при выполнении подготовительных операций молот работает не на полную мощность.

4. Относительно тяжелые условия труда, сложность механизации и особенно автоматизации процессов штамповки.

5. Большой расход металла в напуски от штамповочных уклонов вследствие ограниченного применения выталкивателей.

6. Невысокая точность размеров поковок (допуск достигает нескольких миллиметров). Малая пригодность для работы с закрытыми штампами.

7. Сотрясения от ударов зданий и приборов.

8. Частые поломки штоков.

2. Штамповка на прессах

Для горячей штамповки применяют кривошипные горячештамповочные, винтовые фрикционные, гидравлические и гидровинтовые прессы. Каждый из них имеет свои особенности и пре-

имущества, связанные с масштабом производства поковок, видом применяемых штампов, формой и размерами поковок.

Кривошипные горячештамповочные прессы вытеснили молоты и получили распространение в крупносерийном производстве поковок средних масс. Этот вид оборудования отличается наиболее высокой стоимостью, но приспособлен для высокомеханизированного и автоматизированного производства поковок. Кривошипные горячештамповочные прессы допускают эксцентричное расположение ручьев в штампе, снабжены нижним и верхним выталкивателями, но имеют нерегулируемый конец рабочего хода, что не позволяет деформировать заготовку в одном ручье за несколько ходов. Скорость в момент начала деформации этих прессов не превышает 0,6—0,8 м/с; усилие составляет 6,2—98 МН, а в последнее время — до 120 МН.

Винтовые фрикционные прессы, а также гидровинтовые иногда относят к группе молотов, поскольку при деформации у них расходуется энергия быстро движущихся масс (скорость винтовых фрикционных прессов в начале деформации 3—4 м/с, а гидровинтовых 1,5 м/с). Однако в технологическом отношении они ближе к прессам, что позволяет характеризовать их работу не массой движущихся частей, а усилием в ньютонах. Конец их хода не фиксируется, что позволяет применять повторные обжатия в одном и том же ручье штампа. Из-за конструктивных особенностей винтовые фрикционные прессы мало пригодны для многоручьевого штамповки, так как значительные эксцентричные нагрузки здесь недопустимы. Поэтому их применяют преимущественно для одноручьевого торцовой штамповки в открытых и закрытых штампах, а также для гибки, правки и некоторых других операций. Усилие самых крупных винтовых фрикционных прессов не превышает 9,8 МН. Наиболее распространены прессы усилием 0,39—6,2 МН.

Гидровинтовые прессы являются новым видом оборудования для горячей штамповки, их применяют в СССР и ряде зарубежных стран. В нашей стране идея постройки таких прессов принадлежит А. И. Зимину (1936 г.). Ему же принадлежит первая конструктивная схема этой машины, названной им пресс-молотом. Типоразмерный ряд гидровинтовых прессов ЭНИКМАШа содержит 11 единиц прессов усилием до 98 МН. Прессы снабжены выталкивателем и приспособлены для работы с разъемными матрицами, а также для высокомеханизированного и даже автоматизированного производства поковок. Опыт эксплуатации гидровинтовых прессов положителен, что позволяет считать их перспективным оборудованием, дополняющим кривошипные горячештамповочные и винтовые фрикционные прессы.

В СССР работают самые мощные в мире гидравлические вертикальные прессы (750 МН). Основным недостатком гидропрессов является их тихоходность. Для штамповки цветных металлов, которые деформируются при значительно более низких температурах, чем сталь, гидропрессы являются основным оборудова-

нием. Для стальных поковок гидропрессы применяют с использованием штампов выдавливания и глубокой прошивки.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах. Значительное распространение этих прессов для объемной штамповки объясняется следующими их преимуществами перед молотами.

1. Более высоким к. п. д. Кривошипный горячештамповочный пресс с индивидуальным электродвигателем имеет экономический (приведенный к энергии топлива) к. п. д. в 2 раза и более, чем у молота, и достигает 6—8%.

2. Более высокой производительностью за счет сокращения числа ударов в каждом ручье до одного.

3. Повышенной точностью размеров поковок. Постоянство хода пресса уменьшает отклонения размеров поковок по высоте. Более совершенные конструкции штампов на прессах обеспечивают меньшую величину смещения половин штампа, в связи с чем точность размеров поковок повышается. На практике возможная точность работы на кривошипных прессах характеризуется наименьшими допусками: 0,2—0,5 мм вместо 0,8—1,0 мм при штамповке на молотах.

4. Увеличенным коэффициентом использования металла. Наличие уменьшенных припусков, напусков и допусков является следствием более совершенной конструкции штампов кривошипных прессов, снабженных верхним и нижним выталкивателями. Экономия металла достигает десятков процентов.

5. Улучшением условий труда.

6. Снижением себестоимости продукции. При штамповке на кривошипном прессе себестоимость продукции снижается за счет расхода металла и эксплуатационной стоимости.

К числу основных недостатков кривошипных горячештамповочных прессов относятся их высокая стоимость и возможность заклинивания и поломки прессов в крайнем нижнем положении ползуна. На вывод пресса из этого положения затрачивается много времени.

Особенности штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах. Деформация металла на этих прессах характеризуется жестким характером кривой изменения пути ползуна во времени. В каждом ручье для данного размера заготовок возможна лишь определенная степень деформации за один рабочий ход пресса. Если пресс совершает такое же число ходов, как и эквивалентный молот, то машинное время штамповки сокращается пропорционально числу ударов молота в каждом ручье штампа. Однако технологические переходы штамповки непосредственно перенести от молота к прессу нельзя.

На рис. 228 приведен график изменения скоростей $\omega_{\text{мол}}$ и $\omega_{\text{пр}}$ в процессе деформации металла у молота и пресса на величину Δh . Этот график построен по данным для пресса усилием

Рис. 228. Изменение скорости движения штампов:

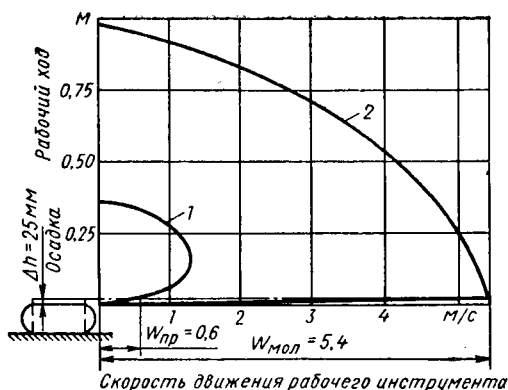
1—кривошипного пресса; 2—эквивалентного молота

24 МН и эквивалентного ему молота с массой падающих частей 2,25 т, а также по данным осадки цилиндра на 25 мм за один удар. В конце осадки скорости бойков молота и пресса равны нулю; наибольшая разница в скоростях наблюдается в начальный момент деформации, когда у молота она составляет 5,4, а у пресса 0,6 м/с. Если разницу в течении металла при деформации его на прессе и под молотом объяснять влиянием неодинаковых скоростей, то это, вероятнее всего, относится к начальному моменту деформации, когда разница в скоростях движения инструмента наибольшая. Так как скорость распространения пластических деформаций не превосходит скорости движения бойка молота, то деформация при штамповке на молоте в основном должна протекать вблизи контакта металла с движущимся инструментом. Это способствует лучшему заполнению верхних полостей штампа на молотах. Кроме того, более длительное соприкосновение нижнего штампа с заготовкой приводит к большему охлаждению ее нижней части, поэтому верхняя часть заготовки деформируется легче и в большей степени. Экспериментами установлено, что сопротивление деформации металла в верхней полости молотового штампа в 2 раза меньше, чем в нижней.

Значительной разницы в заполнении верхней и нижней полостей штампа пресса нет; меньшие скорости деформации способствуют ее распространению на весь объем заготовки. Поверхностной деформации при этом не наблюдается. Разница в действии удара молота и пресса состоит в различной продолжительности воздействия инструмента на металл. Каждый удар молота длится 0,005—0,01 с, тогда как на прессе продолжительность единичного обжатия в каждом ручье составляет 0,03—0,08 с.

При деформации металла на прессе в открытом штампе, сконструированном по аналогии с молотовым штампом, происходит примерно то же явление, которое наблюдается при штамповке поковок одним ударом молота с излишне большой для данной поковки массой падающих частей. Получается чрезмерно большой заусенец, поэтому металла оказывается недостаточно для образования поковки.

Л. А. Шофман предположил, что основная разница в заполнении молотового и прессового штампов состоит в условиях обра-



зования заусенца и в более высокой его температуре в случае прессового штампа, поскольку время остывания заусенца здесь значительно меньше.

Предотвратить образование чрезмерного заусенца в прессовом штампе можно несколькими способами. Наиболее простой способ с технологической точки зрения состоит в увеличении числа ручьев для постепенного приближения формы заготовки к форме поковки. При этом уменьшается степень деформации за каждый ход пресса, а условия деформации приближаются к штамповке на молотах. Поковки, штампуемые на молоте за один переход, целесообразно на прессе штамповать за два или несколько переходов. При этом получают экономию машинного времени, если число ручьев прессового штампа меньше числа ударов при штамповке данной поковки в молотовом штампе. Введение, например, осадки с наметкой отверстия или образованием выступа позволяет, кроме того, удалить с заготовки окалину.

Другой способ заключается в затруднении течения металла в канавку. Проще всего уменьшить толщину или увеличить ширину порога канавки, но это затруднит вытекание заусенца лишь в конце штамповки. С этой же целью применяют канавки со сдвоенными порогами или дополнительные карманы на пути движения металла в магазин канавки.

Целесообразнее задержать момент начала образования заусенца путем подбора фасонной заготовки соответствующей формы. Эффективное решение состоит в том, что плоскость разреза штампов размещают так, чтобы она оказалась в месте наименьших поперечных деформаций, т. е. вблизи торца заготовки, где расположена зона затрудненной деформации. Наличие выталкивателей у пресса позволяет работать с незначительными штамповочными уклонами и размещать плоскость разреза штампов в любом положении, не опасаясь больших потерь металла вследствие напусков от штамповочных уклонов. Заготовка с вогнутой боковой поверхностью также позволяет оттянуть начало образования заусенца (см. рис. 159). Штамповка в закрытых штампах, будучи более совершенным процессом (в отношении расхода металла), находит на прессах все более широкое применение, поскольку удается преодолеть трудности, связанные с точной дозировкой объема заготовки.

Значение упругих деформаций пресса. Каким бы жестким ни был пресс, его отдельные детали под влиянием усилий штамповки упруго деформируются. Вал получает изгиб, шатун и ползун — сжатие, станина на участке между столом и вырезами для коленчатого вала — растяжение. Если штамп налаживать без нагрузки, сблизив верхнюю и нижнюю его части на установленный расчетом размер заусенца, при крайнем нижнем положении ползуна, то высота поковки получится больше на величину упругой деформации пресса. Так как соударение частей штампов опасно, то штампы прессов должны иметь

открытый магазин канавки. Это позволяет при наладке штампа изменять расстояние между его частями. Для получения в результате штамповки необходимого размера h заусенца при наладке штампа между выступами канавки помещают прокладки толщиной, равной высоте заусенца за вычетом соответствующей величины упругой деформации прессы. Толщину прокладки устанавливают предварительно при пробных штамповках. Прокладки после закрепления штампа убирают. В процессе штамповки вследствие упругой деформации деталей прессы получают заусенец заданного размера.

Упругая деформация деталей данного прессы зависит от сопротивления деформации металла в штампе, которое, в свою очередь, зависит от температуры металла и объема заготовки. Избыток металла (больше расчетного), непрогрев или недогрев заготовки увеличивают упругую деформацию деталей прессы, а следовательно, и высотные размеры заусенца и поковки. Противоположно влияет тепловая усадка металла, в результате которой при остывании уменьшаются размеры поковок. Усадка зависит от температуры конца штамповки. С повышением этой температуры усадка возрастает, но сопротивление деформации металла снижается. Величина деформации деталей кривошипных горячештамповочных прессов достигает 1—2 мм, а усадка для поковок средних размеров также не менее 1—2 мм, т. е. эти величины соизмеримы. Окончательный размер поковок по высоте $H_{\text{пок}}$ после остывания

$$H_{\text{пок}} = H_* + \Delta - a_t + q_{\text{пок}}, \quad (85)$$

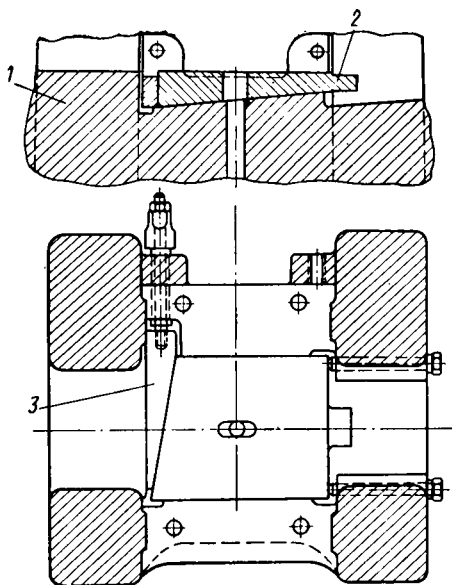
где H_* — высота поковки из разогретого штампа, соответствующая холостому ходу прессы (может быть получена при штамповке заготовки из термостойкой пластмассы); Δ — суммарная величина продольных упругих деформаций деталей прессы в конце штамповки (для одной и той же поковки Δ зависит от сопротивления деформации металла соответственно изменению его температуры); a_t — линейная усадка по высоте поковки при остывании от температуры конца штамповки (может быть подсчитана или определена для данной стали дилатометрически); $q_{\text{пок}}$ — упругая деформация горячей поковки (она весьма незначительна).

Если заготовки одинакового объема штамповать при различных фиксируемых температурах металла, измерять фактическую высоту поковки и a_t (величиной $q_{\text{пок}}$ можно пренебречь), то суммарная величина упругих деформаций деталей прессы

$$\Delta = H_{\text{пок}} + a_t - H_*. \quad (86)$$

График упругих деформаций деталей прессы Δ в зависимости от температуры t деформируемого металла позволяет контролировать температуру t конца штамповки по высоте штампуемых поковок $H_{\text{пок}}$, так как $H_{\text{пок}} = f(t)$. По данной величине допуска на высоту поковки график позволяет установить допустимые

Рис. 229. Клиновое устройство для регулирования закрытой высоты горячештамповочного кривошипного пресса



колебания температуры конца штамповки или величину допуска при данном интервале температур конца штамповки. Если протарировать пресс, то можно построить график «упругая деформация Δ — развиваемое усилие P ». По этому графику можно определить впоследствии усилие штамповки для любых поковок, фиксируя фактические упругие деформации пресса в процессе штамповки или получая величину Δ по формуле (86).

Абсолютная величина Δ упругой деформации деталей пресса определяет величину наиболее тонкого заусенца при штамповке данной поковки. Дальнейшее уменьшение его толщины приводит к соударению частей штампа на холодном ходу пресса, что приводит к его заклиниванию. По этой же причине на кривошипных прессах не применяют отрезных ножей типа молотовых. В тех случаях, когда приходится отделять поковки от прутка, применяют ножи, движущиеся смежно относительно друг друга (по типу ножниц).

Для получения минимальных отклонений размеров поковок по высоте необходимо, чтобы колебания объемов поковок и температуры штамповки были минимальными. Однако при изготовлении поковок необходимо рационально использовать штампы, износ которых увеличивает допускаемые отклонения от заданных размеров поковок.

Допуски в плоскости, совпадающей с плоскостью разреза штампов, не зависят от упругих деформаций пресса, определяются смещением верхней половины штампа, износом штампов и зависят от неравномерной усадки поковок, т. е. от колебания температуры конца штамповки.

Устройство прессовых штампов. Для получения поковок точных размеров, перпендикулярных к разрезу штампа, штамповое пространство пресса должно регулироваться по высоте (закрытой высоте). С этой целью прессы снабжены столом особой конструкции (рис. 229). Опорная часть станины 1 выполнена наклонной (в данном случае по фронту, а у некоторых прессов —

в глубь пресса). Подштамповая плита в виде клина 2 имеет тот же наклон, что и станина (для прессов средних размеров 12—14°).

Клин 2 имеет в середине овальное отверстие для прохода стержня нижнего выталкивателя, а также выступающий в окне станины пресса отросток (справа) для перемещения плиты ударами кувалды (чтобы не портить клин) и клиновый скос (слева). Вдоль клина 2 по его скосу горизонтально перемещается вспомогательный клин 3 меньших размеров, упирающийся прямой стороной в станину 1 пресса. При установке клина 2 на стол пресса оба клиновых скоса компенсируют друг друга и верхняя плоскость подштамповой плиты устанавливается в горизонтальное положение. При перемещении клина 2 по наклонной опоре изменяется уровень горизонтальной поверхности, и таким образом, изменяется закрытая высота пресса. Для более легкого перемещения клина 2 его наклонную поверхность тщательно смазывают, например, смесью масла с графитом.

При заклинивании пресса необходимо, чтобы закрытую высоту можно было бы легко увеличить, поэтому работать с максимально закрытой высотой не следует, так как при расклинивании пресса нельзя будет воспользоваться перемещением клина.

В отличие от массивных цельноблочных молотовых штампов на прессах применяют сборные штампы. Штамп монтируют в так называемом пакете, состоящем из двух частей — нижней 1 (рис. 230) и верхней 2. Прямоугольные вставки 8, 9, 10 с ручьями устанавливают в соответствующем гнезде, причем их крепят с помощью клиновых планок 6 и прижимов 4.

Наклонные боковые грани вставок позволяют прижать вставки к местам посадки. Перемещением вставок вдоль фронта пресса регулируют и затем закрепляют их правильное положение болтами 7. Положение вставок перпендикулярно фронту пресса можно регулировать клиновыми планками 6. Точность совпадения верхних и нижних вставок обеспечивается направляющими ползуна пресса и колонками 3. Две колонки 3 расположены в задней части штампа, их закрепляют внизу стопорными болтами или прессовой посадкой. В верхней части штампа имеются соответствующие отверстия и втулки, в которые входят колонки 3. Для удобства демонтажа каждой части штампа колонки могут выходить из втулок при подъеме ползуна пресса в верхнее положение. Однако исходя из условий техники безопасности и для большей стабильности наладки штампа принимают меры, исключающие выход колонок из втулок при работе пресса. Для уменьшения потерь на трение колонки смазывают, для этой цели на втулках предусмотрены канавки.

Нижнюю часть штампа устанавливают на подштамповую плиту и закрепляют на столе пресса, для чего в станине предусмотрены отверстия с нарезкой (см. рис. 229).

Штамповой пакет должен быть изготовлен отдельно для каждого размера пресса, так как в его болтах имеются отверстия

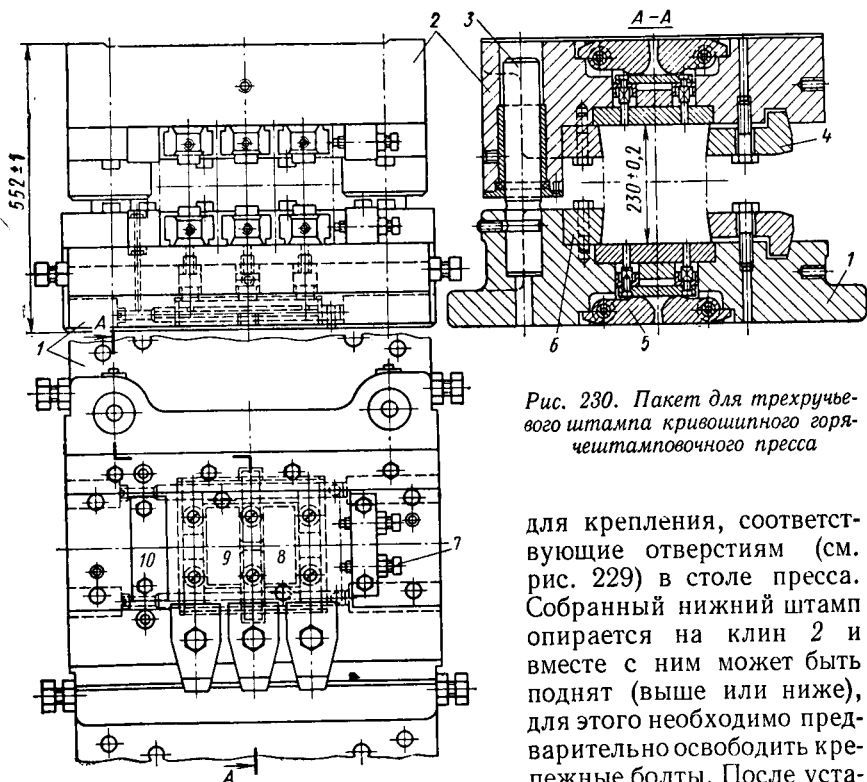


Рис. 230. Пакет для трехручьевого штампа кривошипного горячештамповочного прессы

для крепления, соответствующие отверстиям (см. рис. 229) в столе прессы. Собранный нижний штамп опирается на клин 2 и вместе с ним может быть поднят (выше или ниже), для этого необходимо предварительно освободить крепежные болты. После уста-

новки пакета последний жестко закрепляют на станине болтами. Положение штампа регулируют с помощью болтов, проходящих через специальный прилив в станине прессы.

Выталкивающие устройства. Использование выталкивателей в штампах кривошипных горячештамповочных прессов позволяет применять небольшие штамповочные уклоны. Система, выталкивающая поковку, состоит из толкающих механизмов прессы (самостоятельных для верхней и нижней частей штампа), промежуточных рычагов 5 (рис. 230), надавливающих на упорную планку, и выталкивателей штампа, удаляющих поковки из ручья.

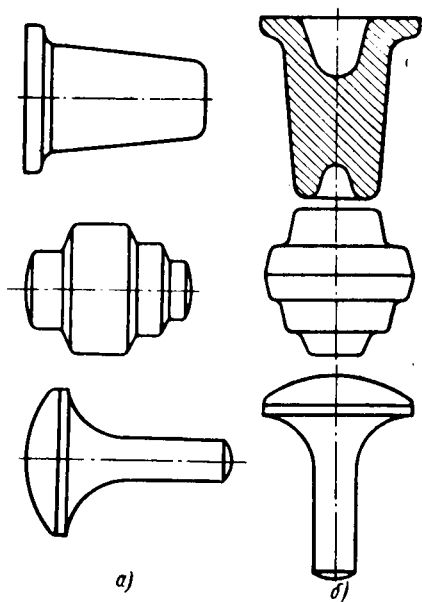
Ниже приведены данные, характеризующие количество отходов, вызываемых штамповочными уклонами, при штамповке поковки диаметром 50 мм и высотой 100 мм в торец и с разъемом посередине высоты.

Величина уклона, град.	0	1	3	5	7	10
Объем поковки, см ³	196,3	210,5	218,4	233,0	251,0	274,0
Отходы, %	0	7	11,5	19	28	40

Потери металла значительно возрастают с увеличением штамповочных уклонов. Выталкивающие механизмы прессов отли-

Рис. 231. Различные положения поковок при штамповке:

а — предпочтительные на паровоздушных молотах (без выталкивателя); *б* — на прессах (с выталкивателем)



чаются простотой конструкции и надежностью в эксплуатации, что позволяет применять штампы с небольшими уклонами.

Наибольшие внешние штамповочные уклоны при штамповке с выталкивателями обычно не превышают 3° . Как говорилось выше, сила трения, удерживающая поковку в ручье, зависит, в частности, от коэффициента трения и напряжений сжатия металла, принудительно запрессованного в полость, т. е. от удельной силы при штамповке. Для уменьшения удельной силы повышают температуру штамповки и вводят дополнительные ручки для более тщательного фасонирования заготовки, уменьшения заусенца и замены деформации выдавливания осадкой при заполнении ручья. Для уменьшения коэффициента трения необходимо полости штампов шлифовать и смазывать. Смазка облегчает заполнение металлом ручьев, удаление из них поковок и уменьшает износ полостей штампов в тех местах, относительно которых металл смещается в процессе формообразования.

Наличие выталкивателя позволяет изменить весь технологический процесс, например, заменить сложную поперечную штамповку более простой продольной (торцовой, рис. 231). При отсутствии выталкивателей для уменьшения глубины полости ручья и напусков приходится выбирать плоскость разреза штампа по наибольшему габаритному размеру поковки (рис. 231, *а*). При наличии выталкивателей в штампе для уменьшения потерь металла на заусенец можно рекомендовать разъем по наименьшим габаритным размерам поковки (рис. 231, *б*). Лимитирующим обстоятельством здесь будет высота заготовки, которая не должна быть чрезмерно большой по условиям продольного изгиба. При этом уклоны должны быть не более 3° для верхней поковки и 1° для остальных. Продольная штамповка характеризуется следующими преимуществами.

1. Уменьшается сложность гравировки основного и изготовления обрезающего штампов (токарные работы вместо фрезерных и долбежных).

2. Упрощается форма исходной заготовки.

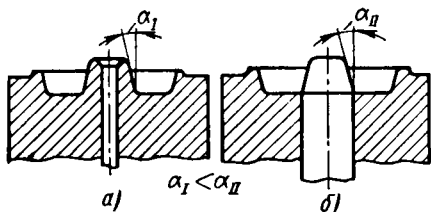


Рис. 232. Варианты выхода стержня выталкивателя к телу поковки

3. Упрощаются условия штамповки.
4. Уменьшается величина отходов на заусенец (в связи с уменьшением его периметра). Возможна экономия металла в напусках от уклонов и вследствие упрощения формы поковки.
5. Облегчается обрезка заусенца; конструкция обрезающего штампа проще и долговечнее.
6. Уменьшается опасность получения брака по сдвигу и незаполнению углов.

7. Возрастает стойкость основного штампа.
 8. Повышается качество изделий из-за более правильного расположения волокон и большей равномерности деформации.
 При расположении плоскости разреза перпендикулярно оси поковки можно выполнять глубокие выемки со стороны торцевой поверхности поковки (верхняя поковка на рис. 231, б). Это улучшает условия последующей калибровки поковок, которая повышает точность их размеров. Предельный диаметр полости для указанных выемок у молотовых штампов составляет 30 мм, у штампов прессов 20 мм.

Кривошипный горячештамповочный пресс можно использовать и без выталкивателей, если при минимальном угле наклона поковку можно легко извлечь из ручья (для неглубоких и широких полостей штампа). Если при штамповке удастся использовать естественные уклоны или овалы, то применение выталкивателей также не обязательно.

Конструкция выталкивателей штампа зависит от формы поковки и способа штамповки. При продольной штамповке выталкиватель упирается либо в торец поковки, либо в перемычки отверстия. Для поволоков с отверстием может быть осуществлено выталкивание с упором в кольцевую поверхность торца поковки. При поперечной штамповке упор может быть в головку, в стержень поковки и даже в заусенец. Если применяют упор выталкивателя в перемычку отверстия, то стержень выталкивателя может быть внутри знака (рис. 232, а) или заменять деталь штампа (рис. 232, б); штамповочный уклон α_{II} в последнем случае должен быть больше, чем уклон α_I ; это обеспечивает свободное снятие поковки с выталкивателя, уклон которого 5—7°.

Если применение выталкивателя необходимо в нескольких местах поковки большой длины (чтобы избежать ее искривления) или в нескольких ручьях, то используют конструктивное решение, показанное на рис. 233, а. Толкатель 1 прессы надавливает на два шарнирных рычага 2 (ось шарнира 3), которые поднимают планку 4 с опирающимися на нее тремя стержнями 5 выталкива-

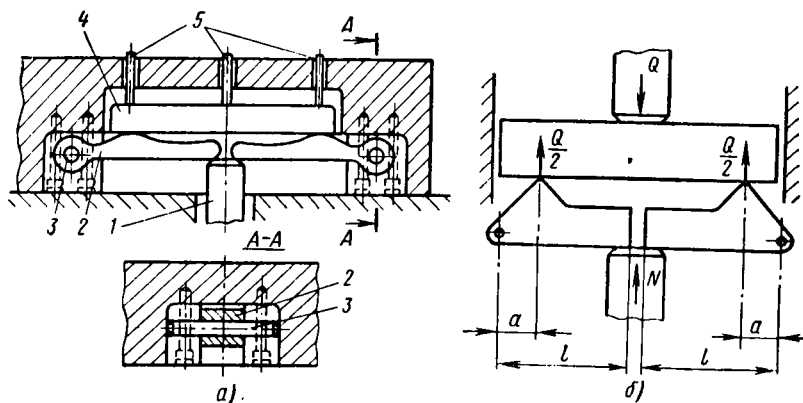


Рис. 233. Рычажный выталкиватель и схемы действующих сил

теля штампа. Другой вариант подобного решения дан на рис. 230, поз. 5.

Для преодоления сил трения, удерживающих поковку в ручье, необходимо сдвинуть ее на ничтожно малое расстояние, при этом соотношение плеч рычагов выталкивателя (рис. 233, б) подбирают в соответствии с необходимой силой

$$Q = N \frac{l}{a}.$$

Для представления о возможностях конструирования выталкивателей рассмотрим конструкцию штампов с нижним и верхним выталкивателями для поковки шестерни (рис. 234). Вдоль оси нижней вставки 3 чистового ручья выполнено отверстие, равное диаметру ступицы поковки. Через это отверстие проходит выталкиватель 2, верхняя часть которого является элементом ручья (нижним знаком). Нижний выталкиватель 2 упирается в опорный диск 1, который находится в выточке корпуса пакета. В полости верхней вставки 4 размещен стержень 7 с верхним знаком, формирующим полость поковки и не перемещаю-

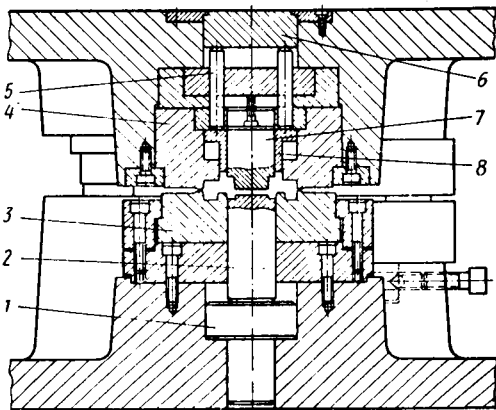


Рис. 234. Штамп для штамповки шестерни с нижним стержневым и верхним кольцевым выталкивателями

щимся относительно верхней вставки. Выталкиватель 8 верхней вставки имеет форму кольца с фланцем, на которой через пробку 6 и пальцы 5 давит верхний толкатель пресса (на рис. 234 эта деталь не показана).

Для поковок со стержнями и вообще для поковок, штампуемых в очень глубоких полостях, применяют пневматические или гидропневматические выталкивающие механизмы вместо обычных рычажных, которыми чаще всего оборудованы кривошипные горячештамповочные прессы.

Ручьи прессовых штампов. На кривошипных прессах применяют открытые и закрытые штампы. Конструктивное оформление чистовых ручьев открытых штампов во многом совпадает с их оформлением при штамповке на молотах. Отличия состоят в величине штамповочных уклонов ручьев, размеров канавки и наличии выталкивателей у штампов.

Ручьи закрытых прессовых и молотовых штампов существенно отличаются друг от друга, так как при штамповке на кривошипных прессах требования к точности дозировки заготовок из-за опасности перегрузки прессов более жесткие, чем при штамповке на молотах. В связи с этим в прессовых штампах применяют специальные компенсаторы в виде дополнительных выемок в полости штампа, устраняющие вредное влияние больших колебаний объема заготовок. Соответствующие штампы рассмотрены ниже.

Размеры канавок открытых штампов прессов, приведенные в табл. 38, изменяют в зависимости от степени предварительной фасонировки заготовок, поступающих в окончательный ручей глубиной h_n (рис. 235).

При штамповке на прессе размер h , определяющий толщину заусенца по мостику, не должен быть меньше упругой деформации пресса, величина которой зависит от усилия, развиваемого в каждом отдельном случае прессом. При данном размере h и прочих равных условиях сопротивление деформации металла в окончательном ручье определяется шириной b порога канавки. Чем

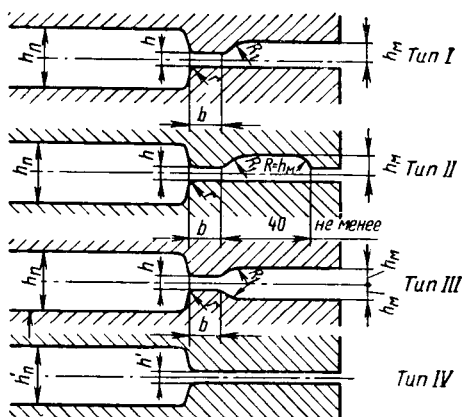
Таблица 38

Размеры канавок для заусенцев штампов кривошипных горячештамповочных прессов

Усилие пресса, кН	Размеры, мм					
	h	h'	b	h_m	R_1	r
6 170	1—1,5	0,6—1,0	4—5	5	15	0,5
9 800	1,5—2,0	1,0—1,5	4—6	6	15	1,0
15 680	2,0—2,5	1,2—1,6	5—6	6	20	1,5
19 600	2,5—3,0	1,4—1,8	6	6—8	20	2,0
24 500	2,5—3,0	1,6—2,0	6	6—8	20	3,0
30 870	3,5—4,0	2,0—2,5	6—8	8	25	3,5
39 200						

Рис. 235. Канавки для заусенцев у штампов кривошипных горячештамповочных прессов:

I — наиболее распространенная форма; *II* — применяют для уменьшения объема механической обработки штампа; *III* — применяют при большом объеме заусенца и *IV* — при небольшом объеме заусенца



больше величина b , тем больше сопротивление металла деформации.

Для вытекания заусенца в течение одного рабочего хода пресса необходимо, чтобы размер h перемычки канавки был примерно в 2 раза больше этого же размера канавки молотового штампа. Так, например, при штамповке небольших поковок в молотовом штампе $h = 0,6 \div 1,5$ мм, при штамповке аналогичных поковок на эквивалентном прессе $h = 1,5 \div 2,5$ мм. Однако за счет более тщательного фасонирования заготовок (по сравнению с молотовой штамповкой) на прессах штампуют с меньшим фактическим объемом заусенца.

Плоскость разреза штампов при штамповке на кривошипных прессах выбирают так же, как и при штамповке на молотах (см. рис. 190), однако при наличии выталкивателей используют разъем ближе к торцу поковки, так как это, незначительно увеличивая напуски, затрудняет образование большого объема заусенца.

При штамповке на прессах воздух из глубоких полостей штампа следует отводить через специальные выводные отверстия. Чтобы избежать затекания металла в эти отверстия, диаметр их не должен превышать 2—3 мм.

Штамповочные уклоны, как уже было сказано, при наличии выталкивателей уменьшаются. При уклонах, равных $1-3^\circ$, значительно меньше потери металла в напуски, чем при штамповке на молотах с уклонами $5-7^\circ$. Радиусы закруглений в штампах выбирают исходя из тех же соображений, что и при использовании молотовых штампов (см. рис. 199).

Подготовительные ручки. При продольной и поперечной штамповке используют различные подготовительные ручки. Для обеспечения высокой производительности в прессовом штампе должно быть не более двух-трех ручьев. При использовании кривошипных горячештамповочных прессов не применяют сложного фасонирования, а готовят заготовки специализированными методами, это особенно относится к поперечной штамповке длинных поковок. При продольной штамповке на прессе (штамповке в торец) технологический процесс состоит из полузакрытой осадки или осадки с образованием глухих наметок (рис. 236), штамповки

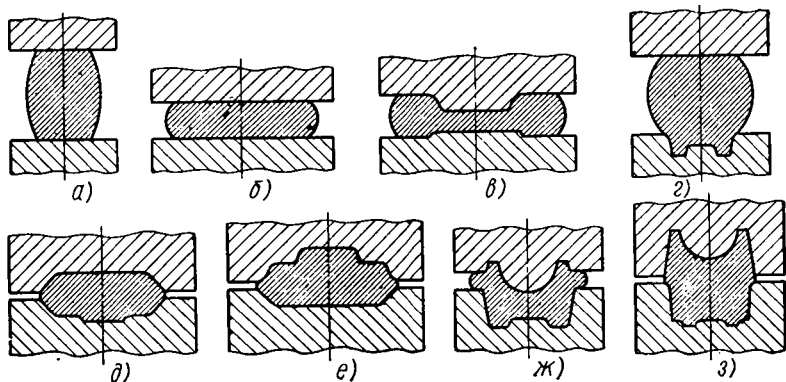


Рис. 236. Типы подготовительных ручьев при штамповке в торец (ручьи а—з расположены в порядке возрастания степени фасонировки для различных типов поковок)

в черновом ручье (только для поковок сложной формы) и чистой штамповки. При штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах технологический процесс более сложный, чем при штамповке на молотах вследствие относительно большей степени фасонирования заготовок. По этой причине осадка плоским инструментом нецелесообразна и ее редко применяют.

Кроме указанных подготовительных ручьев в прессовых штампах широко применяют ручьи для выдавливания металла. Вместо предварительной фасонировки при поперечной штамповке используют прокатку периодического профиля или подготовку фасонных заготовок на ковочных вальцах, устанавливаемых обычно вблизи пресса. По условиям прокатного производства штамповка заготовок периодического профиля экономически целесообразна в массовом и крупносерийном производстве поковок; штамповка вальцованных заготовок — при средней серийности производства поковок. Прокат периодического профиля находит все большее применение. На автомобильных заводах из него штампуют поковки балки передней оси автомобиля, шатуны и многие другие детали.

Для длинноосных поковок, штампующихся на прессах поперек оси заготовки, применяют следующие ручьи: пережимной, в котором за один ход пресса высота заготовки уменьшается, поперечные размеры увеличиваются, незначительно увеличивается длина и происходит некоторое фасонирование за счет небольшого перераспределения металла вдоль оси; формовочный для фасонирования несимметричных поковок, в этих ручьях деформация заготовки может быть совершена за один ход пресса; указанные ручьи не отличаются от им подобных при штамповке на молотах.

Прессовые штампы для поперечной штамповки имеют ручьи для черновой штамповки; в отличие от молотовых штампов они

могут иметь не один, а даже два черновых ручья. Подготовительные ручьи рассчитывают и строят так же, как и ручьи при штамповке на молотах с указанными изменениями уклонов, канавок и степени фасонирования заготовок.

Ниже рассмотрены примеры переходов при штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах.

При отсутствии на поковке высоких и тонких ребер продольная штамповка возможна в окончательном ручье после однократной осадки, сопровождающейся, как правило, фасонированием для облегчения заполнения ручья при меньшем (чем при молотовой штамповке) заусенце. Если в процессе нагрева металла не приняты меры по предотвращению образования окалины, то перед штамповкой заготовка должна быть тщательно очищена от окалины, чтобы избежать ее заштамповки в тело поковки.

Штамповка поковки с двумя полостями на прессе в открытом штампе происходит следующим образом (рис. 237). После полузакрытой осадки (рис. 237, а) с ограничением течения металла вблизи торцов заготовки (для лучшего распределения металла в остальных ручьях) она передается во второй подготовительный ручей (рис. 237, б), где образуется наметка верхней полости поковки, а затем в окончательный ручей (рис. 237, в).

При штамповке поковок для шестерни за три перехода в закрытом штампе (рис. 238) применяют заготовки с повышенной точностью по объему. После штамповки в первом осадочном ручье, в котором образуется фиксирующая полость, заготовку поворачивают на 180° и переносят во второй подготовительный ручей. В этом ручье образуют полость и пережимают диск шестерни инструментом скругленной формы (по периферии заготовка может свободно деформироваться и принимать естественную бочкообразную форму).

Окончательно штампуют в чистовом закрытом ручье, поэтому венец шестерни имеет односторонний уклон (под углом 3°).

Вариант поперечной штамповки применительно к средне-серийному производству представлен совместной штамповкой двух шатунов в открытом штампе (рис. 239); шатуны расположены смежно одинаковыми головками в разные стороны (валетом). Штамповка начинается с пережима заготовки прямоугольного

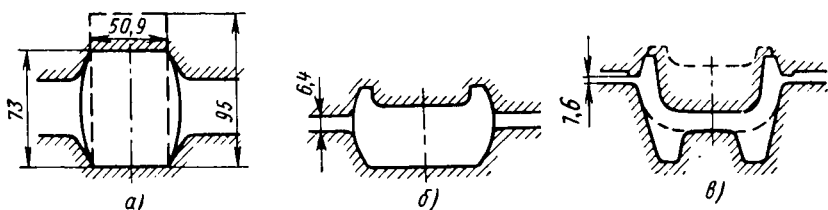


Рис. 237. Переходы при штамповке поковки втулки в открытом штампе на кривошипном прессе

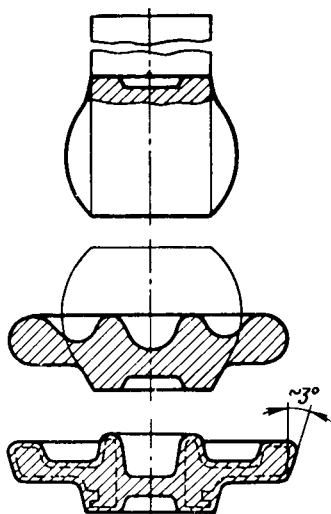


Рис. 238. Штамповка поковок шестерни в закрытом штампе

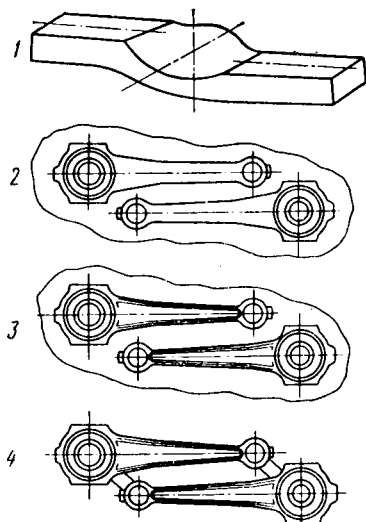


Рис. 239. Переходы при совместной штамповке двух шатунов в общей поковке:

1 — пережатая заготовка; 2 — черновой переход; 3 — чистовой переход; 4 — поковка после обрезки обреза

сечения выпуклым бойком под углом примерно 120° к продольной оси квадратной заготовки. При этом недеформированные части заготовки смещаются относительно продольной оси заготовки и обеспечивают некоторое начальное перераспределение металла.

В черновом, а затем в чистовом ручьях поковки шатунов окончательно оформляются. При удалении заусенца оставляют небольшие соединительные напуски (перемычки), которые позволяют упростить обрезной инструмент; соединенные между собой шатуны попарно калибруют, что увеличивает производительность этой операции. Соединительные напуски удаляют только перед механической обработкой. Шатуны, соединенные напуском, представляют собой более жесткую систему и не нуждаются в последующей правке.

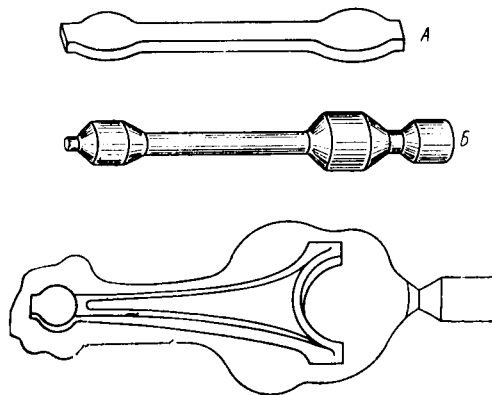
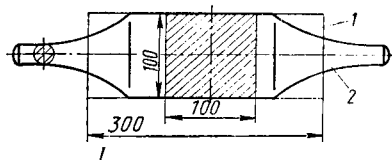


Рис. 240. Переходы при штамповке шатунов из заготовок периодического профиля:

А — заготовка получена продольной прокаткой; Б — то же — поперечной прокаткой

Рис. 241. Переходы I—III при штамповке поковок поворотных кулаков автомобиля из мерной заготовки 1 и из той же заготовки 2 после фасонирования на ковочных вальцах



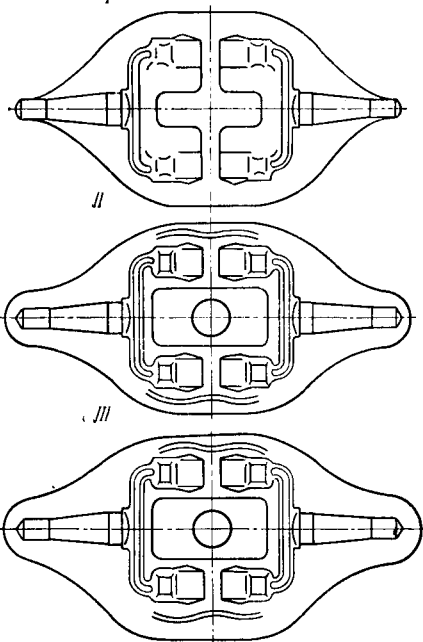
Преимущество такого технологического варианта становится очевидным при сопоставлении эюр диаметров для одиночной и сдвоенных валетом фигур поковок.

На рис. 240 приведены переходы при крупносерийной штамповке шатунов из проката периодического профиля, полученного продольной А и поперечной В прокаткой.

При использовании заготовок, изготовленных специализированными методами фасонирования, отпадает необходимость в экономически невыгодных малопроизводительных процессах фасонирования на основном оборудовании. При специализированных методах фасонирования и, в частности, прокатке периодических профилей производительность работы возрастает в 2—2,5 раза.

На рис. 241 приведены переходы для спаренной штамповки поковок поворотных кулаков автомобиля из квадратной заготовки 1, фасонированной 2 на ковочных вальцах. Сложная форма поковок при объединении двух поковок в одну немного упрощена для совместной штамповки за три перехода (формовочный I, черновой II и чистовой III). Этот технологический процесс обеспечивает производительность 250 поковок в час вместо 70—90 поковок в час при раздельной штамповке кулаков на молотах.

Более сложен технологический процесс штамповки поковок кривошипа передней подвески автомобиля (рис. 242), форма которых характеризуется двойным углом изгиба. Для получения профиля заготовки, соответствующего эюре диаметров, которую строят для поковки в распрямленном состоянии, применяют специализированное фасонирование заготовки вначале на ковочных вальцах (оттяжка конца), а затем с того же нагрева на горизонтальноковочной машине (высаживают бобышку диаметром 65 мм).



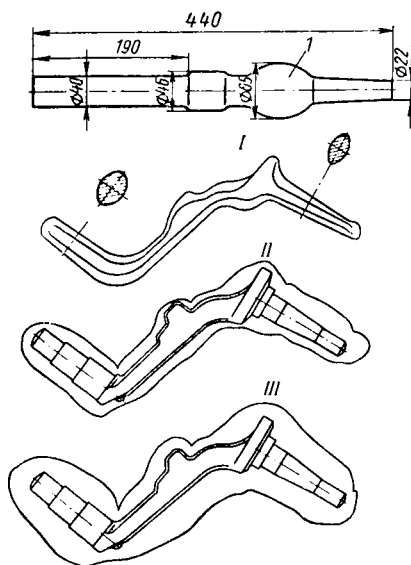


Рис. 242. Переходы I—III при штамповке кривошипа передней подвески автомобиля из заготовки, отфасонированной в штампах горизонтально-ковочной машины;

I — заготовка

Первый переход при штамповке на прессе усилием 25 МН происходит в гибочно-формовочном ручье, в котором, кроме двойного изгиба, заготовка получает форму, приближающуюся к форме поковки; стержневые части заготовки из круглых превращаются в эллиптические (в сечении). Второй переход осуществляют в черновом, а третий — в чистовом ручьях; после этого следует горячая обрезка

заусенца на прессе усилием 1960 кН. Заготовку нагревают в индукционном нагревателе. Поскольку это происходит после высадки, то фасонную заготовку следует нагревать в индукторе специальной формы с различным подводом теплоты к более толстым и тонким участкам заготовки.

При штамповке небольших поковок относительный объем заусенца очень большой, поэтому, используя принцип смежного расположения поковок для совместной штамповки, приходят к экономически целесообразной многостучной штамповке с общим периферийным заусенцем (рис. 243). При таком способе штамповки повышается производительность, хотя штампуют на более тихоходном (более мощном) прессе, чем раздельная штамповка мелких заготовок.

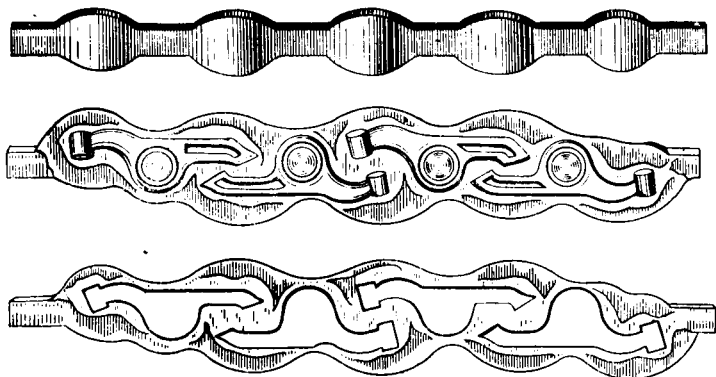


Рис. 243. Многостучная штамповка поволоок коромысла клапана

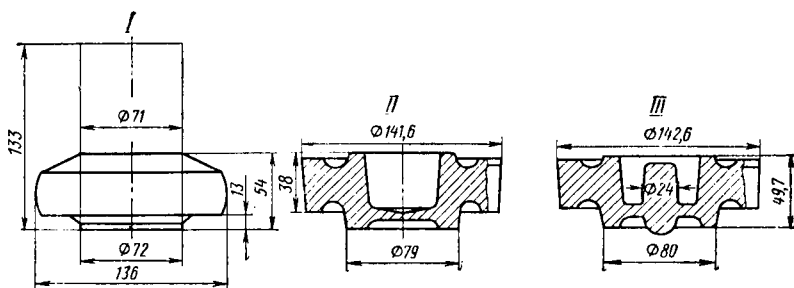


Рис. 244. Переходы I—III при штамповке поковки шестерни в закрытом штампе с внутренним компенсатором

Штамповка на кривошипных прессах в закрытых штампах заготовок недостаточной точности по массе сопровождается перегрузкой и заклиниванием прессов, а также снижением стойкости штампов. Для предотвращения этого (в тех случаях, когда нет возможности повысить точность заготовки) используют штампы с компенсаторами.

На рис. 244 приведены технологические переходы при штамповке поковки шестерни с внутренней (в перемычке) компенсацией избыточного металла заготовки.

На рис. 245 приведен штамп кривошипного пресса для комбинированного двустороннего прямого выдавливания поковки из стали 35Х с фланцем, по бокам которого находятся развитые ступенчатые части. Заготовку диаметром 85 мм и длиной 182 мм отрезают на пресс-ножницах в холодном состоянии. После нагрева до 1200°C заготовку немного осаживают (до высоты $H_k = 80$ мм), а затем укладывают в полость матрицы для выдавливания за один ход пресса усилием 36 МН. Излишек металла вследствие неточности дозировки заготовки выдавливают в стержень, длина которого увеличивается по сравнению с рассчитанной на минимальный объем. Поковка из нижней полости выталкивается выталкивателем 1, а из верхней — выталкивателем 8. Нижняя часть штампа, которая состоит из матрицы 4, закрепленной в бандеже 3 горячей посад-

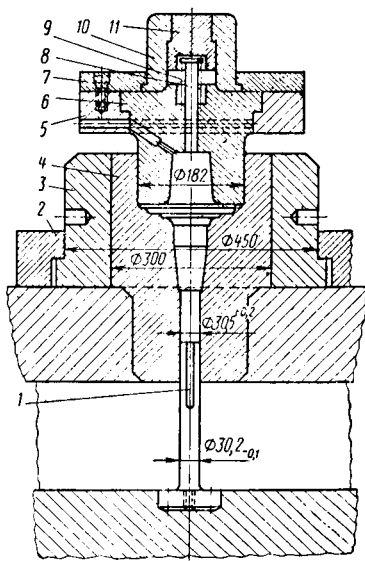


Рис. 245. Штамп кривошипного пресса для выдавливания поковки цапфы прицепа

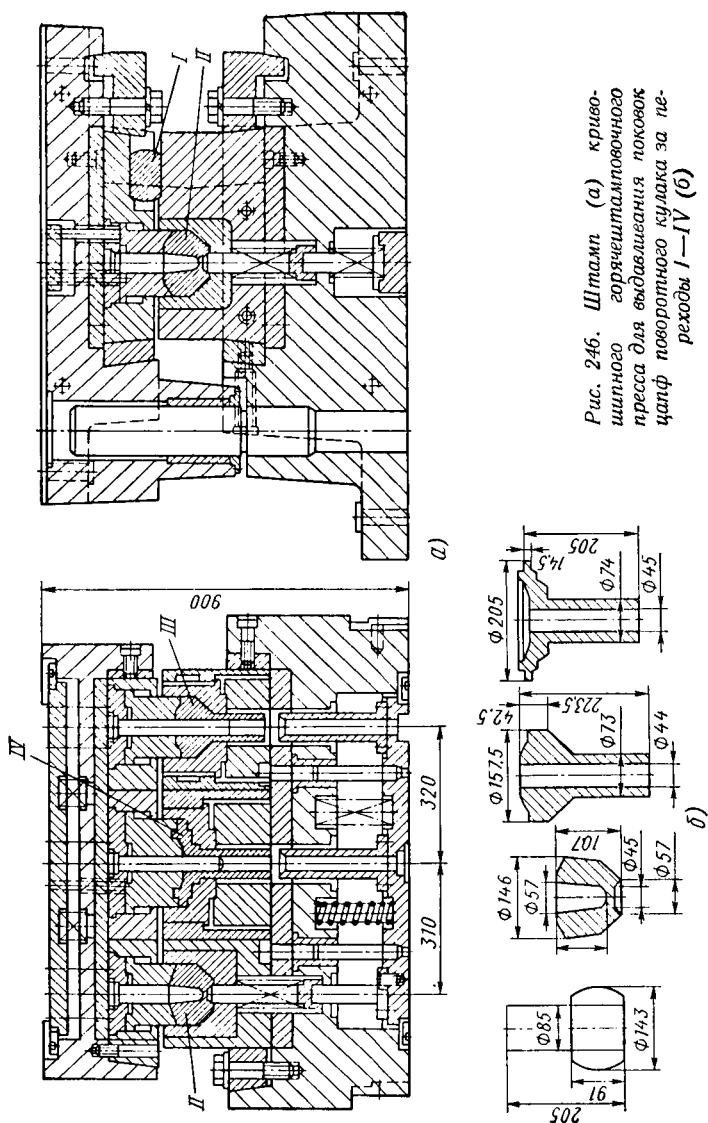
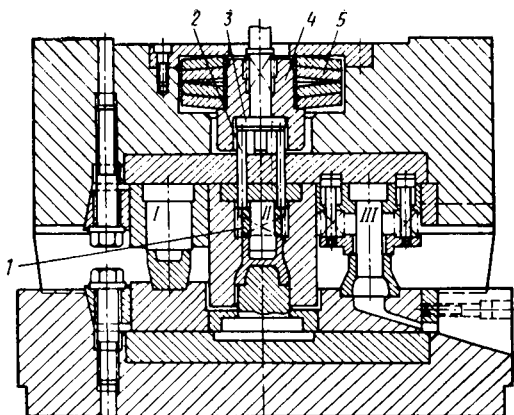


Рис. 246. Штампы (а) криво-
шипного горячештамповочного
пресса для выдавливания поковок
цифр поворотного кулака за пе-
редовы I—IV (б)

Рис. 247. Закрытый штамп с рычажным верхним выталкивателем и пружинной системой противодействия (конец рабочего хода)



кой, монтируют в пакете с помощью державки 2. Верхняя часть штампа состоит из полого пуансона 6, опирающегося на плиту 7, которая соединена с пуансонодержателем 5 и хвостовиком 10. Внутри хвостовика находится нажимной сухарь верхнего выталкивателя 8. Сухарь 11 поддерживается в верхнем положении пружиной 9. Штамп имеет газоотводные каналы в стержне выталкивателя 1 и пуансоне 6.

Переходы при штамповке поковки со сквозным отверстием прямым выдавливанием и соответствующий штамп приведены на рис. 246. После осадки заготовка (переход I) поступает в фасонировочный закрытый ручей, в котором происходит двусторонняя наметка отверстия поковки (переход II). В следующем ручье (переход III) пуансон входит в полость поковки, просекает перемычку и при дальнейшем движении наружной обоймы выдавливает трубчатый стержень поковки. В последнем ручье, расположенном в середине пакета штампа (переход IV), пуансон входит в отверстие поковки и служит в качестве оправки (аналогично игле при прессовании труб). Формующая обойма пуансона штампует фланец поковки в закрытом ручье. Штамп имеет кольцевые нижние выталкиватели. Заготовку и поковку снимают с пуансонов при движении обойм пуансонов на обратном ходу ползуна.

Если вытекание металла в компенсатор невозможно после заполнения полости штампа, то применяют противодействие. При этом верхний или нижний выталкиватель монтируют в виде пружинящей системы. Штампы с противодействием применяют при всех типах выталкивателей (рычажных, гидравлических и пневматических) и для всех разновидностей поковок, выталкиваемых с упором в тело поковки.

На рис. 247 приведен трехручьевого штамп с кольцевым верхним выталкивателем, который объединен с системой противодействия, обеспечиваемой группой тарельчатых пружин. В ручье I фасонируют заготовку с образованием фиксирующей полости. Затем заготовку поворачивают на 180° и устанавливают на нижний знак ручья II (чистового ручья). В третьем — пробивном ручье от поковки отделяют перемычку. Поковка с просечного

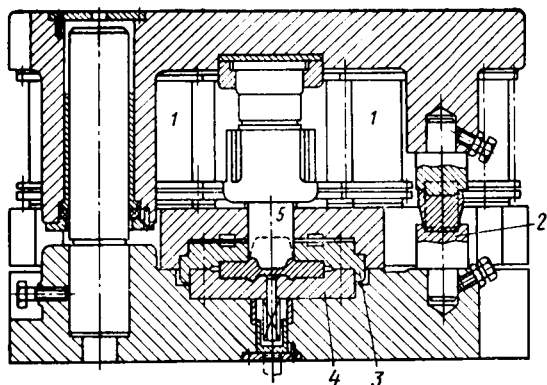


Рис. 248. Закрытый штамп с двумя разрезами и компенсатором для штамповки поковок крестовин на кривошипном прессе

пуансона в ручье *III* снимается пружинным съемником. Перемычка, отделенная от поковки, удаляется вправо за пределы штампа по наклонному каналу. В чистовом ручье система противодействия связана с механизмом верхнего выталкивателя. Кольцо *1*, выталкивающее поковку, упирается в концы стержней *2* (в данном случае их четыре), которые другими своими концами упираются в пластину *3* выталкивателя. Пластина *3* находится в выемке муфты *4*, заплечики которой нажимают на тарельчатые пружины системы противодействия.

В определенный момент штамповки металл входит в кольцевую полость ручья и упирается в кольцо толкателя. В дальнейшем металл может выдавливаться в кольцевую полость только после преодоления сопротивления сжатия пружин. Это дополнительное сопротивление выдавливанию металла обеспечивает заполнение ручья, после чего избыток металла заготовки выдавливается, сжимая пружины; избыток соответствует объему излишка металла каждой заготовки.

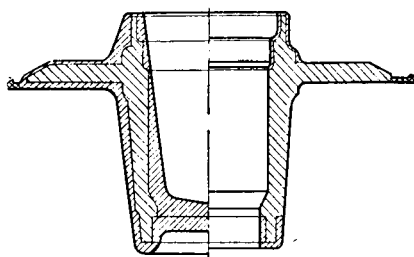
На обратном ходу ползуна прессы пружины через механизм выталкивателя преодолевают силу, удерживающую поковку в ручье, и она освобождается. Большие естественные уклоны нижней части поковки способствуют свободному ее отрыву от нижнего знака ручья; выталкиватель здесь не нужен.

Противодавление в закрытых штампах применяют для увеличения сопротивления вытеснению металла в компенсаторы при чрезмерно большой утечке металла из ручья. Это иногда сопровождается незаполнением полости, особенно при штамповке поковок сложной конфигурации.

Противодавление может быть использовано для увеличения гидростатического давления, что позволяет штамповать даже такие хрупкие сплавы, как чугун.

При штамповке на кривошипных прессах можно применять штампы с двумя поверхностями разреза, например для поковок сложной формы типа крестовин (рис. 248).

Рис. 249. Сравнение поковки отштампованной на молоте (левая половина) и на кривошипном горячештамповочном прессе (правая половина)



Для выдавливания металла в четыре отростка крестовины заготовку, обжатую в ручье 2, помещают в нижнюю часть 4 матрицы, закрепленную в нижней части пакета штампа. Часть матрицы, находящаяся в верхней части пакета, перемещается с помощью пружинных прижимных устройств 1 по поверхности пуансона 5, закрепленного неподвижно относительно верхней части штампа. При движении ползуна пресса вниз верхняя часть матрицы 3 также движется вниз до соприкосновения с нижней частью матрицы 4. При этом фасонная заготовка оказывается в цилиндрической части полости. При дальнейшем движении ползуна пресса пуансон 5 входит в соприкосновение с заготовкой и выдавливает в горизонтальном направлении (боковое выдавливание) все четыре отростка крестовины. Избыточный металл заготовки вытекает в наружный компенсатор.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах позволяет увеличить точность формы поковок (рис. 249), например, по сравнению с молотовой штамповкой. Поковка, штампованная на прессе, во многих случаях может быть обработана не по всей поверхности. При штамповке на прессах затрачивается меньше энергии, чем при штамповке на молотах.

Штамповка на винтовых фрикционных прессах. Свободный ход фрикционных прессов, так же как и молотов, позволяет деформировать металл в каждом ручье штампов за несколько ударов. Достижимая при этом дробная деформация может быть в сумме даже больше деформации эквивалентного кривошипного горячештамповочного пресса. Фрикционные прессы не могут развивать ту же энергию, что и молоты с одинаковой массой падающих частей, так как скорость удара фрикционных прессов примерно в 2 раза меньше, чем молотов (3—4 м/с вместо 6—8 м/с), а энергия удара, как известно, пропорциональна квадрату скорости.

Меньшие, чем у молотов, скорости винтовых фрикционных прессов не вызывают значительного скоростного упрочнения металла, поэтому для деформирования поковок одинаковых объемов требуется меньше энергии. Однако еще меньшие скорости, например, гидравлических прессов увеличивают продолжительность деформирования, при этом металл остывает, а сопротивление его деформации и затрачиваемая энергия возрастают. Таким образом, средние скорости фрикционных прессов не вызывают значительного упрочнения нагретого металла, но обеспечивают незначи-

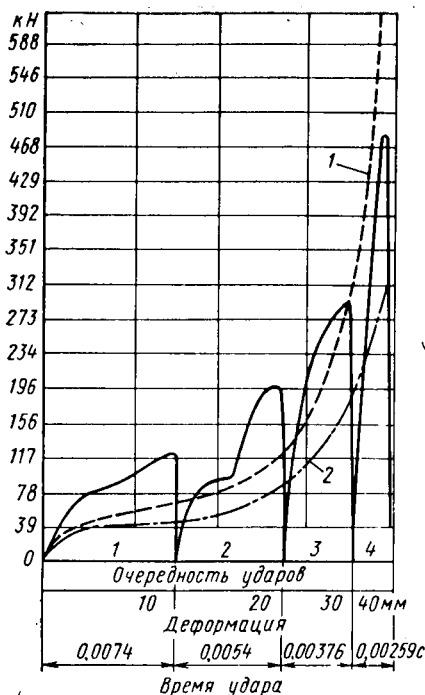


Рис. 250. Сопоставление экспериментальных кривых изменения приведенного усилия деформации при штамповке на молоте (за четыре удара) и на прессах (за один ход)

тельное его остывание в период деформирования. В этом и состоит одно из преимуществ винтовых фрикционных прессов.

Рассмотрим результаты одного исследования (рис. 250).

Для сравнения штамповки одной и той же поковки в открытых штампах были выбраны тихоходный гидравлический пресс усилием 1000 кН, более быстроходный фрикционный пресс с тем же усилием и молот двойного действия с массой падающих частей 300 кг. Усилия измеряли месдозой и записывали на осциллографе. Кривая 1 характеризует изменение усилия и соответствует эксперимен-

тальным данным при значительном понижении температуры металла в процессе штамповки на тихоходном гидравлическом прессе. Кривая 2 соответствует меньшему падению температуры металла при штамповке на фрикционном прессе большей быстроходности. Остальные кривые относятся к штамповке на молоте. Если судить по величине площади, ограниченной кривыми, относящимися к штамповке на молоте (за четыре удара), и площади, ограниченной кривой, относящейся к штамповке на фрикционном прессе (за один ход), то работа деформации в последнем случае меньше приблизительно в 2 раза.

Наибольшее распространение на фрикционных прессах получила продольная штамповка в открытых штампах, но применяют также поперечную штамповку, гибку, штамповку в закрытых в том числе и в разъемных штампах, а также в штампах для выдавливания, раздачи и т. п. Наличие большого рабочего хода у этих прессов позволяет штамповать высокие поковки.

Возможность использования нижнего выталкивателя значительно расширяет номенклатуру штампуемых изделий и позволяет работать с небольшими штамповочными уклонами, а в разъемных по вертикали матрицах — даже без уклонов для полостей, попадающих в плоскость разреза.

Конструкции штампов фрикционных прессов очень разнообразны, одни в какой-то степени схожи с молотовыми цельно-

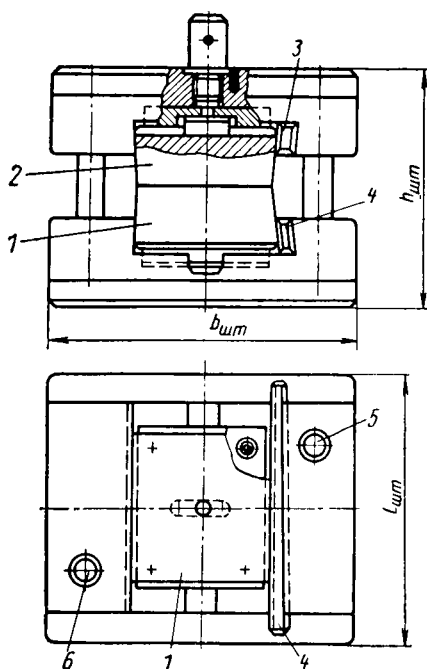


Рис. 251. Штамп (с призматическими вставками) винтового фрикционного прессы

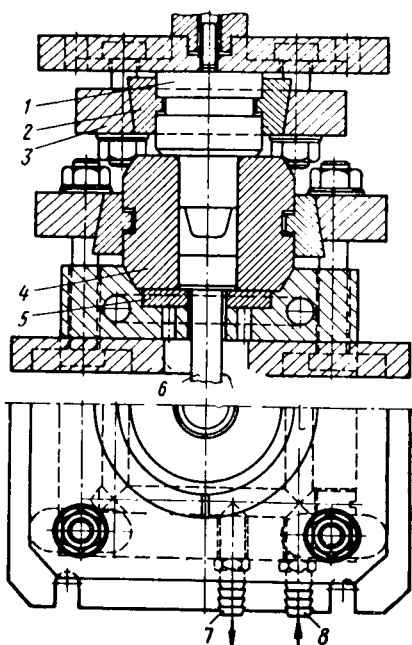


Рис. 252. Составной закрытый штамп (с круглыми вставками и внутренним охлаждением) винтового фрикционного прессы

блочными штампами, а другие имеют много общего со сборными прессовыми колоночными штампами со вставками.

На рис. 251 приведен штамп с призматическими вставками 1 и 2 и клиновым их креплением 3 и 4, а также с диагонально расположенными колонками 5 и 6. Этот штамп можно использовать для изготовления поковок разнообразных форм. Ниже приведены габаритные размеры указанных штампов:

Усилие прессы, кН	$h_{шт}$, мм	$b_{шт}$, мм	$l_{шт}$, мм	Масса, кг
2500	344	500	500	424
4000	410	630	560	770
6300	430	710	630	1081

На рис. 252 показан составной штамп винтового фрикционного прессы для штамповки в закрытых штампах осесимметричной поковки с глухой полостью. Пуансон 1 клиновыми разъемными колодками 2 и кольцом 3 закрепляют на верхней плите

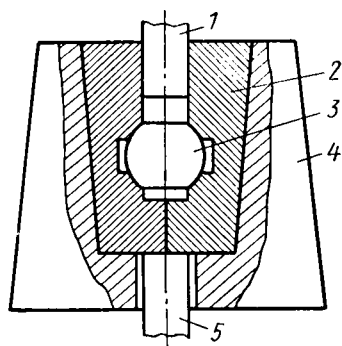


Рис. 253. Закрытый штамп (с вертикально разъёмной матрицей) винтового фрикционного пресса:

1 — пуансон; 2 — разъёмная матрица; 3 — поковка;
4 — обойма; 5 — выталкиватель матрицы

штампа. Аналогично закрепляют на нижней плите штампа матрицу 4. Матрица опирается на подкладку 5, охлаждаемую водой через впускной штуцер 8 и выпускной штуцер 7. Эта система охлаждения обеспечивает высокую стойкость штампов при напряженном режиме работы. Конструкция штампов, имеющих нижний выталкиватель 6, ближе к прессовым штампам. На винтовых фрикционных прессах применяют также штампы с двумя плоскостями разъема (рис. 253). Производительность работы на таком штампе небольшая из-за сложности его сборки и разборки, производимых после штамповки каждой поковки.

Для точной штамповки на винтовых фрикционных прессах используют те же средства, что и для штамповки на других прессах. На рис. 254 показан штамп для горячего выдавливания сложной поковки из предварительно фасонированной заготовки. Процесс протекает по схеме с использованием кольцевого компенсатора. При опускании верхнего штампа 2 обойма 1 достигает нижнего положения и приходит в соприкосновение с нижним штампом 4 еще до конца рабочего хода. При этом скосы на обойме упруго раздвигают стопоры-съемники 3, которые удерживают обойму 1 в процессе штамповки в положении, показанном на рис. 254. В части рабочего хода, равной ΔH , происходит выдавливание поковки из фасонированной заготовки (фланец со стержнями по обеим его сторонам). Избыток металла поступает в кольцевой компенсатор, напоминающий щель для заусенца, но отличающийся от нее тем, что имеет постоянную высоту в течение всего периода деформации металла в ручье.

На обратном ходу стопоры-съемники 3 удерживают в неподвижном состоянии обойму 1 и поковку, при этом штамп 2 поднимается на величину ΔH . Поковка отделяется от стенок полости верхнего штампа, затем обойма 1 увлекается штам-

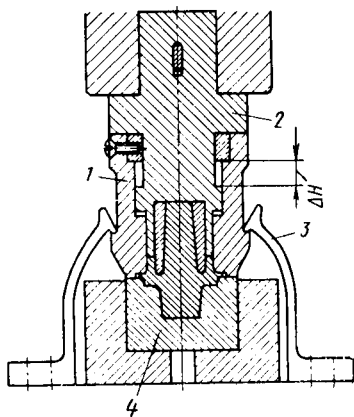


Рис. 254. Штамп с кольцевым компенсатором для выдавливания сложной поковки на винтовом фрикционном прессе

пом 2 вверх, причем стопоры-съёмники 3 упруго раздвигаются. Поковку, оставшуюся в полости нижнего штампа, снимают клещами и передают к обрезающему прессу.

Штамповка на гидравлических прессах. Этот вид оборудования имеет преимущества и недостатки, что и определяет его использование в следующих четырех случаях.

1. Для штамповки металлов и сплавов с небольшой температурой начала штамповки вследствие тихходности прессов и значительного времени соприкосновения штампуемого металла с инструментом, который теряет твердость при нагреве выше температуры отпуска (обычно для горячих штампов температура отпуска не более $500\text{--}550^\circ\text{C}$) и быстро изнашивается. В связи с этим для штамповки на гидравлических прессах наибольшее применение находят алюминиевые и магниевые сплавы, температура начала штамповки которых не превышает соответственно $470\text{--}480^\circ\text{C}$. При штамповке медных сплавов ($t_{\text{нач}} \leq 900^\circ\text{C}$) и особенно титановых сплавов (для ВТЗ $t_{\text{нач}} = 1100^\circ\text{C}$) создаются тяжелые условия для работы штампов.

2. В некоторых случаях штамповка на гидравлических прессах диктуется физико-химическими условиями горячей деформации. Например, штамповка титанового сплава ВТ15, а также некоторых жаропрочных сталей и сплавов.

3. Использование гидравлических прессов может быть вызвано необходимостью иметь большие рабочие хода или график «сила — путь» без максимума в начале и в конце деформации (как при глубокой прошивке).

4. Гидравлические прессы могут быть единственным оборудованием для штамповки крупных поволоков, которые нельзя получить на другом оборудовании из-за недостатка мощности. Дело в том, что гидравлические прессы (наиболее крупные в СССР имеют усилие 750 МН, в США — 560 МН) относятся к наиболее мощному штамповочному оборудованию.

На рис. 255 в качестве примера показан процесс изготовления снарядных стаканов из квадратной заготовки прошивкой с последующим обратным выдавливанием на вертикальном гидравлическом прессе. Заготовку 1 вставляют вертикально в матрицу 2 с конической полостью и поддерживают в ней с помощью центрирующего кольца 3 (рис. 255, а). Затем пуансон 4, плоскоконический торец которого имеет форму дна полости стакана, за один ход прессы прошивает заготовку, выталкиваемую затем из матрицы с помощью выталкивателя 5. В начале прошивки квадратную заготовку осаживают, при этом ее верхний уровень оказывается ниже нижнего уровня центрирующего кольца 3 (см. левую часть рис. 255, а).

Когда начинается обратное выдавливание, наружный диаметр заготовки больше диаметра кольца 3 и это кольцо оказывается приподнятым относительно своего исходного положения (см. правую часть рис. 255, а). Цилиндрический тонкостенный стакан

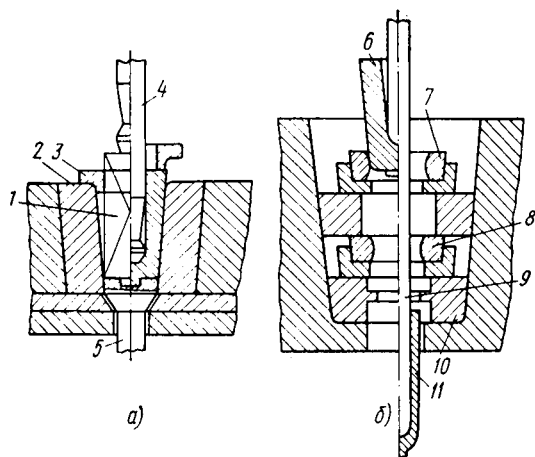


Рис. 255. Переходы и штамп для изготовления снарядного стакана прошивкой с обратным выдавливанием на гидравлическом прессе

получают за второй переход в виде протяжки через несколько колец (в данном случае — их два, рис. 255, б). Эту операцию применяют только на гидравлических прессах, имеющих большой рабочий ход. Прошитую заготовку 6 вставляют в протяжное кольцо 7, ниже которого расположено другое кольцо 8 с отверстием, диаметр которого равен диаметру снарядного стакана. Пуансон 9, надавливая на дно прошитой заготовки, протягивает ее, утоняя стенку при продвижении через оба кольца. На обратном пути пуансона съемник 10 снимает с него протянутый стакан 11. Это происходит вследствие того, что диаметр стакана под действием упругой деформации немного увеличивается и не может пройти в обратном направлении через отверстие съемника 10, которым служит матрицедержатель второй матрицы. В начале процесса на графике изменения усилий по рабочему ходу (рис. 256) наблюдается подъем на стадии осадки заготовки (положение I на диаграмме). На участке между положениями I и II происходит радиальная раздача квадратной заготовки, которая сопровождается обратным ее выдавливанием. Подъем кривой на конечном участке III объясняется увеличением сопротивления деформации тонкого дна заготовки и ее охлаждением.

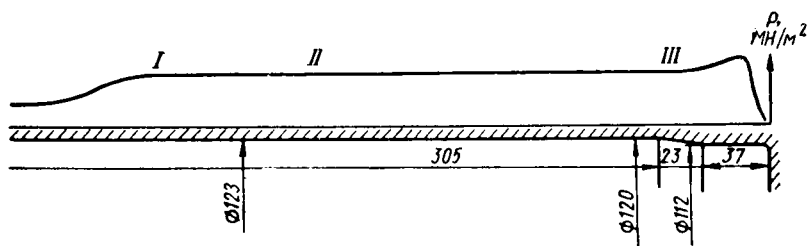


Рис. 256. График «усилие—рабочий ход» при штамповке с прошивкой снарядного стакана (по Ф. И. Гофману)

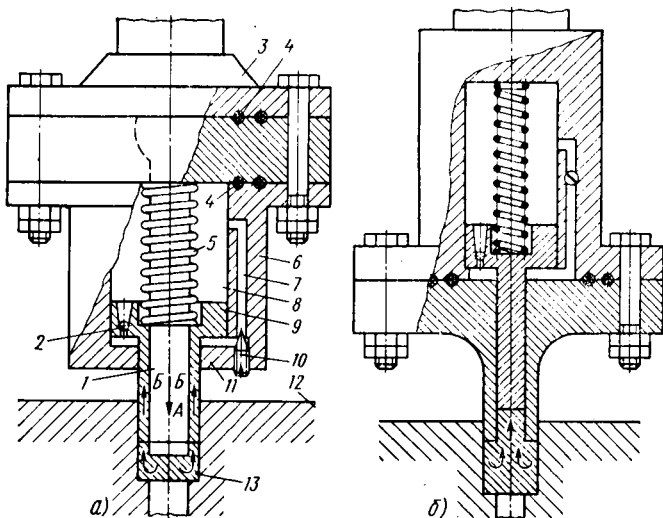


Рис. 257. Схема штампов для обратного выдавливания заготовок из хрупкого материала с противоодавлением на гидравлическом прессе

На гидравлических прессах можно деформировать и хрупкие металлы выдавливанием с противоодавлением. На рис. 257 приведена сложная гидравлическая система противоодавления при обратном выдавливании поковок в штампах двух вариантов: с кольцевым выходным отверстием (а) и цилиндрическим выходным отверстием (б). Эти штампы используют для выдавливания поковок из хрупких или малопластичных сплавов, так как противоодавление обеспечивается на всем протяжении выдавливания.

Верхняя часть 3 штампа с пуансоном 1 смонтирована вместе с гидравлическим устройством для противоодавления, корпус 6 которого герметизирован с помощью уплотнителей 4. В корпусе 6 перемещается поршень 9, полый шток которого скользит по пуансону 1. Пружина 5, работающая на сжатие, упирается в верхнюю часть 3 штампа и выемку поршня 9, устанавливая его в исходное положение. Камера 8 для жидкости над поршнем и подпоршневое пространство 11 соединены между собой каналом 7, рабочее сечение которого регулируется конусом 10. Когда жидкость поступает в камеру 8 (при возвращении поршня в нижнее исходное положение после окончания выдавливания), шариковый клапан 2 открывается, позволяя поршню 9 быстро принять исходное положение с помощью пружины 5.

Рабочий ход пуансона, осуществляемый в направлении стрелки А, сопровождается движением поршня в направлении стрелки Б под действием на него металла, выдавливаемого из полости 13. Работа системы противоодавления происходит в следующем по-

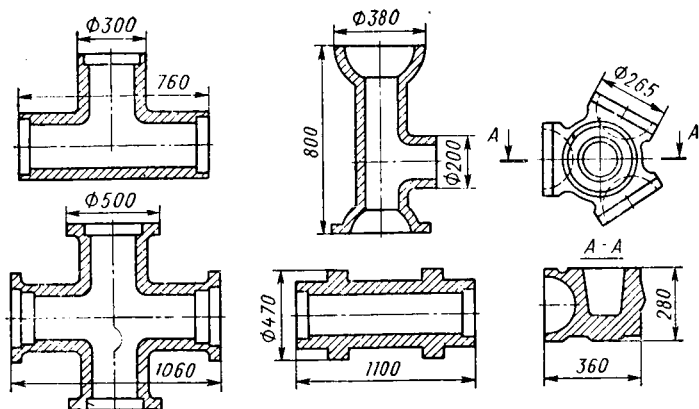


Рис. 258. Примеры крупногабаритных изделий, получаемых на многоплунжерных гидравлических прессах

рядке. После нагрева заготовку устанавливают в полость 13 нижней части 12 штампа. До начала деформации нижняя кольцевая часть поршня одновременно с торцом пуансона входит в соприкосновение с металлом. В начале выдавливания металла пуансоном поршень 9 перемещается вверх, вытесняя жидкость из камеры 8 в подпоршневое пространство 11 через отверстие, которое регулируется конусом 10. Увеличением или уменьшением этого отверстия можно регулировать противодействие. Система противодействия при обратном выдавливании грибовидных поковок приведена на схеме рис. 257, б. Действие системы аналогично предыдущей, устройство штампа проще. Отличие состоит в том, что вместо конуса для регулирования величины противодействий здесь применяют поворотный кран.

Противодействие при выдавливании поковок из хрупких и малопластичных металлов составляет 98—245 МН/м²; при выдавливании грибовидных поковок из серого чугуна 29—39 МН/м². Н. И. Корнеев рекомендует для ориентировочных расчетов принимать противодействие равным 10% от усилия пресса. Такое противодействие предотвращает образование трещин, так как обеспечивает повышение среднего напряжения шарового тензора, и деформация происходит при ярко выраженном напряженном состоянии трехосного сжатия.

Штамповка выдавливанием обеспечивает высокую точность размеров и чистоту поверхности поковок и почти полностью исключает обработку на металлорежущих станках. Так, например, клапаны, полученные таким способом, подвергают незначительной обработке в местах их посадки в седло и на конус стержня.

На специальных многоплунжерных гидравлических прессах получают большую номенклатуру изделий типа тройников, крестовин и других пустотелых поковок (рис. 258), которые подвер-

гают очень незначительной обработке резанием, так как все отверстия получают прошивкой пуансонами, установленными под разными углами относительно друг друга. Для этих поковок применяют разъемные матрицы.

Штамповка на гидровинтовых прессах. Гидровинтовые прессы являются новым штамповочным оборудованием. Принцип работы таких прессов состоит в том, что винт, несущий ползун со штампом, разгоняется при помощи маховой массы и осевого давления жидкости от гидроцилиндра. В начале штамповки расходуется энергия маховых масс и осевого давления, а затем только второй источник энергии. В СССР изготавливают гидровинтовые прессы, разработанные ЭНИКМАШем, усилием 1—100 МН и числом ходов соответственно 19—5 при нормальном режиме и 40—12 при ускоренном режиме. Прессы снабжены нижним выталкивателем и приспособлены для штамповки в разъемной матрице. Большое расстояние между столом 8 и ползуном 1 пресса использовано для размещения двух нижних вертикальных неприводных ползунов (рис. 259). Эти дополнительные ползуны входят друг в друга и шарнирно связаны между собой так, что при движении наружного ползуна 9 вниз, внутренний ползун 7 движется вверх. Блок штампов состоит из трех частей: верхней плиты 2 с полуматрицей 3, нижней плиты 10 с полуматрицей 4 и пуансонодержателя 5 с пуансоном 6, причем нижняя полуматрица оказывается сопряженной с наружным ползуном 9, а пуансон — с внутренним ползуном 7. Нагретая заготовка, укладываемая в нижнюю полуматрицу 4, опирается на пуансон 6, находящийся в нижнем положении. При движении верхнего ползуна 1 вниз в некоторый момент полуматрицы 3 и 4 оказываются сомкнутыми, образуя замкнутую полость ручья (в данном случае для поковки шестерни с наружным круговым компенсатором). Находящаяся в полости штампа заготовка пока остается недеформированной. Дальнейший ход ползуна 1 совершается вместе с наружным ползуном 9, который перемещает вверх внутренний ползун 7 с пуансонодержателем 5 и пуансоном 6. При этом пуансон выдавливает поковку. Излишки металла поступают в компенсатор.

Хотя гидровинтовые прессы менее быстроходны, чем винтовые фрикционные (скорость в момент начала деформации 1,5 м/с вместо 3—4 м/с), однако они компактны и могут быть большой мощности (энергия удара в десятки раз больше энергии наибо-

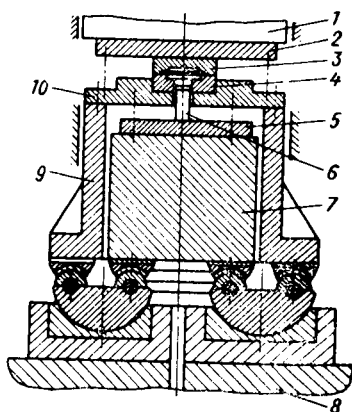


Рис. 259. Схема работы блока штампов гидровинтового пресса (ЭНИКМАШ)

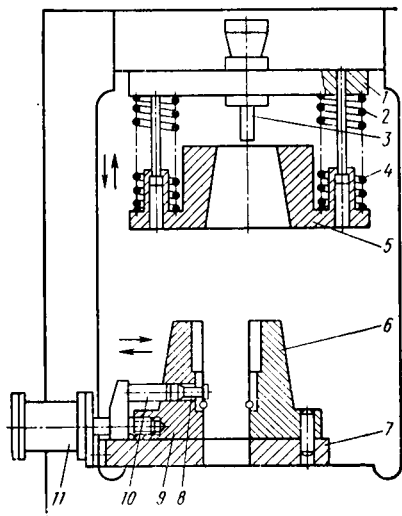


Рис. 260. Схема устройства для уравнивания силы распора матрицы с продольным разъемом в процессе штамповки

более крупных винтовых фрикционных прессов). Гидровинтовые прессы, так же как винтовые фрикционные прессы, не приспособлены для многоручьевого штамповки, но необходимая для штамповки работа на гидровинтовых прессах может совершаться и за несколько обжатий в одном ручье. Это выгодно отличает их от кривошипных горячештамповочных прессов. Особенно ценна возможность использования гидровинтовых

прессов для работы с разъемными матрицами (см. рис. 183). Если используют двухразъемный штамп с разъемом в двух перпендикулярных плоскостях (см. рис. 253), то вместо описанной выше системы блока штампа с двумя дополнительными нижними ползунами (рис. 259) можно применить другое устройство (рис. 260), обеспечивающее надежное соединение двух полуматриц в период штамповки и уравнивающее усилие их распора.

К ползуну прессы крепят плиту 1 с закрепленным на ней пуансоном 3 и подвешенной на тягах 4 с пружинами 2 круглой обоймой 5 с кольцевым отверстием. Нижняя часть штампа состоит из двух продольно-разъемных полуматриц 6 и 9, соединенных в вертикальной плоскости. Наружная поверхность матрицы имеет тот же уклон (6°), что и отверстие в обойме 5. Неподвижная часть 6 матрицы закреплена на плите 7, а подвижная полуматрица 9 перемещается в салазках под действием штока пневматического цилиндра 11, установленного на плите 7. В начале процесса работает пневмоцилиндр, сопрягая полуматрицы, после чего нагретая заготовка попадает в ручей; включением прессы обеспечивается посадка обоймы на матрицу. При дальнейшем опускании ползуна пружины все плотнее прижимают обойму к матрице, а пуансон 3 осуществляет деформацию. Готовая поковка удаляется из ручья выталкивателем 8, действующим от жестко закрепленного на плите 7 толкателя 10 при обратном ходе ползуна прессы.

Исследованиями, проведенными А. И. Зиминным и другими, установлена возможность получения поковок на гидровинтовом прессе (из алюминиевых сплавов) с высокими ребрами толщиной до 0,5 мм при штамповочном уклоне $0,5^\circ$ и радиусе закругления 0,3 мм.

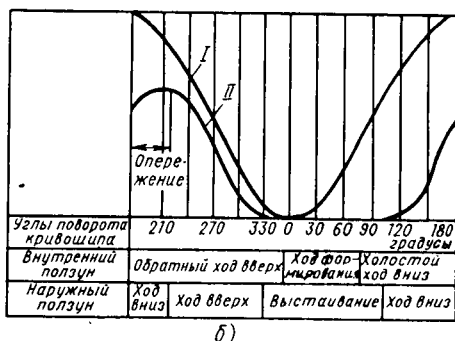
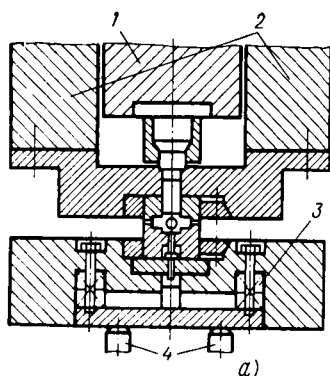


Рис. 261. Штамп пресса двойного действия с разъемной матрицей для штамповки крестовины (а) и график движения ползунов (б)

1 и 2 — внутренний и наружный ползуны; 3 — пружины; 4 — выталкиватели;
I и II — движение внутреннего и наружного ползунов

Штамповка на кривошипных прессах двойного действия. Для горячей штамповки успешно применяют прессы двойного действия, традиционно используемые для листовой холодной штамповки при вытяжке. Для горячей штамповки эти прессы особенно удобны при штамповке в поперечно-разъемных матрицах (рис. 261), поскольку никаких дополнительных приспособлений не требуется. Заготовку (рис. 261, а) устанавливают в нижнюю полуматрицу. Вначале при движении ползунов наружный ползун 2 обеспечивает сопряжение частей матрицы и остается какое-то время в неподвижном положении. В это время внутренний ползун 1, двигаясь вместе с пуансоном, оформляет поковку. График совмещенного движения ползунов иллюстрирует их взаимное перемещение (рис. 261, б).

Применение прессов двойного действия перспективно и для многоручьевой горячей штамповки.

3. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах

На горизонтально-ковочных машинах штампуют в открытых, закрытых штампах и в штампах для выдавливания. Типичным процессом на горизонтально-ковочных машинах является многоручьевая высадка в закрытых двухразъемных штампах¹.

Основным признаком штампов горизонтально-ковочных машин является наличие двух взаимно перпендикулярных разъемов (рис. 262). Главный разъем проходит между пуансоном, который

¹ В отличие от высадки при ковке, высадка при штамповке состоит не только в осадке части прутка независимо от места ее расположения (на конце или на некотором расстоянии от него), но и в заполнении деформируемым металлом полости ручья.

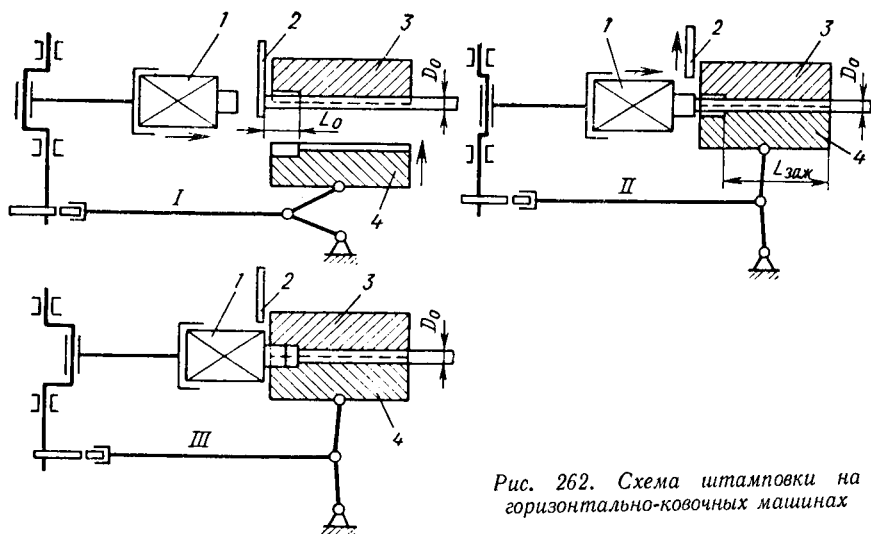


Рис. 262. Схема штамповки на горизонтально-ковочных машинах

закреплен в блоке 1 пуансонов, и разъемной матрицей, расположенной в блоках матриц — неподвижном 3 и подвижном 4. В начале процесса пуансон и обе половины матрицы разомкнуты (положение I). Пруток металла диаметром D_0 направляют в неподвижную часть матрицы до упора 2, положение которого отрегулировано для размещения в полости матрицы заданного участка прутка длиной L_0 . Затем включают машину на рабочий ход, при этом подвижные части штампов приходят в движение в следующем порядке. Прежде всего в рабочее положение устанавливается подвижная часть матрицы, находящаяся в блоке 4 (положение II). Это обеспечивает плотный зажим прутка на длине L_3 , после чего упор 2 отходит, а пуансон приходит в соприкосновение с прутком металла. При дальнейшем движении пуансона высаживается свободная длина L_0 прутка; при этом заготовка заполняет полость ручья (положение III).

При обратном ходе машины из полости матрицы удаляется пуансон с блоком 1, затем отходит блок 4 с частью матрицы, после чего устанавливается в исходное положение упор 2 и штамповщик может вынуть из ручья прутком с высаженным концом. Такой порядок движения частей инструмента обеспечивается кривошипной системой главного хода и кулачковой системой бокового хода машины (рис. 262).

На рис. 263, а показан рабочий инструмент и силы, действующие на заготовку. Заготовку укладывают в ручей до упора (положение I). В положении II в момент зажатия прутка возникают боковые силы N , которые вызывают силы трения T , удерживающие пруток при последующей посадке его конца усилием P пуансона ($T = P$). В положении III сила P имеет максимальное

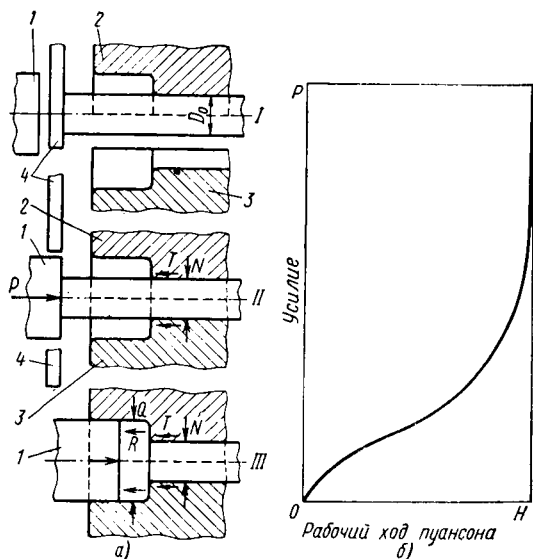
значение, но это не требует увеличения сил трения T для удержания прутка в зажатом состоянии, так как образовавшееся утолщение на конце прутка опирается в заднюю стенку ручья. График «усилие—рабочий ход» при высадке (рис. 263, б) имеет ярко выраженный максимум в конце хода пуансона. Штампуют обычно в нескольких ручьях штампа, расположенных вертикально по высоте блоков. Высадочный штамп имеет два-три ручья и в исключительных случаях четыре-пять в зависимости от длины деформируемой части прутка и сложности конфигурации поковки.

Штамповка от прутка является наиболее целесообразным типовым процессом высадки без предварительной разделки прутков на заготовки. На горизонтально-ковочных машинах штампуют мерные заготовки с упором заднего конца (задним упором). Наличие разъема в матрице позволяет не применять штамповочные уклоны на стенках ее полости в тех случаях, когда глухая полость ручья попадает в разъем. Высаженные поковки со сквозными отверстиями можно получить без отходов на перемычку. Точность высаженных поковок более высокая, чем например, точность поковок при штамповке на молотах, за счет лучшего направления движущихся частей штампов и постоянства величины хода горизонтально-ковочных машин. Штампы с пространственным разъемом позволяют получать поковки таких форм, которые невозможно получить в рассмотренных ранее штампах (рис. 264, а).

Сравнение потерь металла в заусенец, перемычку и в стружку при механической обработке по результатам различных способов штамповки двубортного ролика (рис. 264) убеждает в преимуществах штампов с пространственным разъемом (потери металла

Рис. 263. Схема действующих сил (а) и график «усилие—рабочий ход» при высадке (б);

1 — пуансон; 2 — неподвижная часть матрицы; 3 — подвижная часть матрицы; 4 — упор



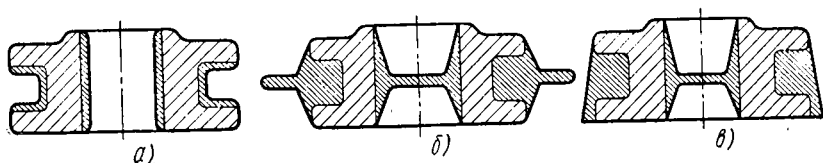


Рис. 264. Поковка двубортного ролика, полученная в штампах с двумя плоскостями разреза (а), а также в открытом (б) и в закрытом (в) с одной плоскостью разреза

зачернены). Однако при штамповке на горизонтально-ковочных машинах образуются концевые отходы металла от зажима прутков. Эта разновидность штамповки может быть применена преимущественно для поковок, штампуемых в торец. Изменение диаметра заготовки при штамповке одной и той же поковки сопряжено с заменой штампа.

Условия высадки за один переход. Как и в других много-ручьевых штампах, ручки штампов горизонтально-ковочных машин подразделяют на подготовительные и окончательные. Форма окончательных ручьев обуславливается формой поковки, заданной чертежом. При продольной штамповке на вертикальных машинах предварительные операции заключались в осадке и формовке заготовки главным образом для придания ей устойчивости при обработке в последующих ручьях. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах характеризуется большей устойчивостью заготовок из-за более плотного их зажима, чем у свободно осаживаемых заготовок на молотах и прессах.

В лабораторных условиях зажатый в матрице образец небольшого размера, имеющий перпендикулярно срезанный торец, может быть высажен в холодном состоянии до любого необходимого конечного диаметра при длине деформируемой части прутка $L_0 = 3,2D_0$ (рис. 265, а)¹. Однако в производственных условиях при косом торце прутки такой длины не удается высадить в симметричную поковку. При наличии скоса на торце не более 6° наибольшая выступающая длина прутка во избежание продольного изгиба и образования складок составляет $L_0 \leq 2D_0$ (рис. 265, б). Угол скоса более 6° при высадке недопустим, так как при этом волокнистость металла поковки получается очень несимметричной. При указанных условиях высадки (см. рис. 265, а) можно получить поковку с любым конечным диаметром, какой может допустить пластичность металла. Эти условия остаются одинаковыми для прутков различных диаметров и для штамповки при любых температурах. При наличии у пуансона знака образования полости длины высадки за один ход машины принимают меньшей, чем указано выше. При симметричной деформации пре-

¹ Величина $L_0 = 3,2D_0$ экспериментально установлена Г. Н. Лотоцким в кузнечной лаборатории Московского института стали и сплавов.

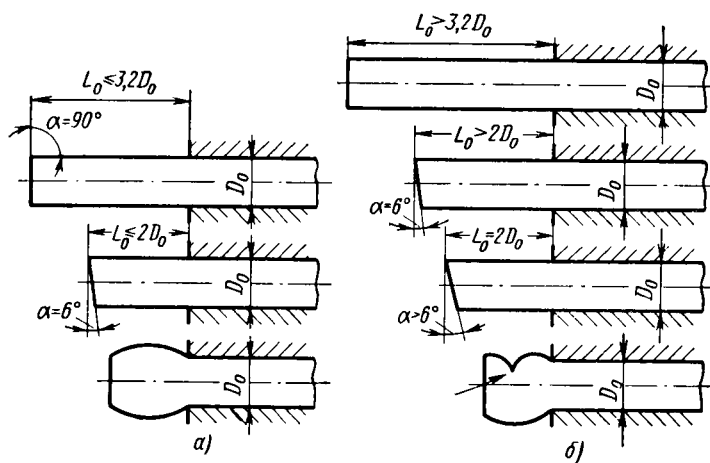


Рис. 265. Условия высадки за один переход

дельный коэффициент однопереходной высадки $n' = L_0 : D_0 \leq 2,5$. Для определения возможности высадки поковки за один переход можно воспользоваться соотношением

$$V = \frac{\pi D_0^2}{4} L_0, \quad L_0 = n' D_0.$$

Тогда

$$D_0 = \sqrt{\frac{4V}{\pi n'}}. \quad (87)$$

Принимая во внимание, что масса поковки $G = V\gamma$, получим

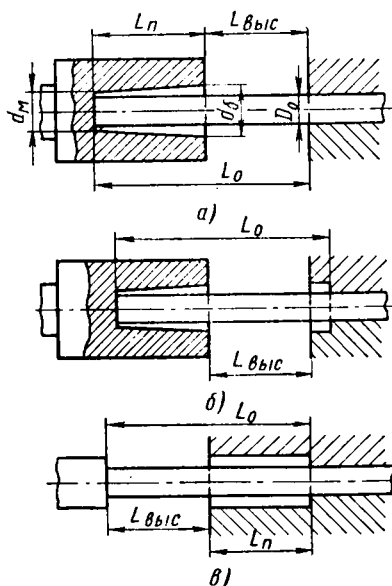
$$D_0 = \sqrt{\frac{4G}{\pi \gamma n'}}. \quad (87')$$

Чем меньше коэффициент однопереходной высадки $n' = \frac{L_0}{D_0}$, тем больше диаметр прутка, из которого штампуют данную поковку за один переход.

Если в соответствии с размерами поковки необходим диаметр прутка меньшей величины, то перед формовкой следует применить специальный ручей, называемый наборным.

Ручьи для набора металла. Назначение наборных ручьев получить заготовку большего диаметра для последующей высадки поковки за одну операцию. Продольный изгиб заготовки ограничен стенками наборного ручья. В штампах горизонтально-ковочных машин набирать металл можно в пуансоне (рис. 266, а), в матрице (рис. 266, в), а также частично и в пуансоне, и в матрице (рис. 266, б). Металл предпочтительнее набирать в пуансоне, так как при наборе в матрице может образоваться непредусматриваемый заусенец по месту ее разъема и между пуансоном и матрицей.

Рис. 266. Форма ручьев для набора металла



Для набора металла длина высаживаемой части прутка может быть значительно больше величины, определяемой $n'D_0$, но при этом заготовка получает продольный изгиб. Во избежание образования складок при продольном изгибе заготовки диаметр полости штампа не может быть принят произвольно большим. Чем больше длина посадки, тем меньше допустимый диаметр ручья для набора металла. При наборе металла в пуансоне для облегчения заполнения ручья и извлечения из него высаженной заготовки применяют пуансон с полостью конической формы.

Экспериментально установлено, что больший диаметр конической полости d_6 не может превышать диаметра заготовки D_0 более чем в 1,8 раза. На практике отношение $d_6 : D_0 = 1,25$ при $L_0 > 10D_0$ и 1,5 при меньших величинах L_0 (но при $L_0 > n'D_0$). Меньший диаметр конической полости d_m исходя из условий заполнения полости должен быть немного больше номинального размера прутка ($d_m = 1,05D_0$). При увеличении d_m объем конической полости возрастает, но увеличивается и возможность изгиба прутка. Поэтому величина d_m может быть больше указанной выше при относительно малых значениях $L_0 : D_0$. Например, при $L_0 : D_0 = 4$ $d_m = 1,5D_0$, если $d_6 \leq 1,8D_0$. Если конусная форма перехода нужна не в связи с требующейся формой поковки, а как средство набора металла, то соотношение размеров d_6 и d_m принимают исходя из максимального объема полости с учетом изгиба прутка. Например, при $d_m = 1,25D_0$ и $d_6 = 1,5D_0$ (см. рис. 266) объем конической полости глубиной L_n

$$V_n = \frac{\pi L_n}{12} (d_6^2 + d_m^2 + d_6 d_m) = 1,48 L_n D_0^3. \quad (88)$$

Полагая, что объем заготовки равен объему поковки, а последний равен объему конической полости пуансона, получим

$$\frac{\pi D_0^3 L_n}{4} = 1,48 L_n D_0^3,$$

тогда

$$L_n = 0,53 L_0. \quad (89)$$

Экспериментально установлено, что при указанных соотношениях размеров свободная длина прутка $L_{\text{выс}} \leq 2,5D_0$ (во избежание продольного изгиба и образования складок на поковке), поэтому $L_0 - L_{\pi} = 2,5D_0$ или $L_0 - 0,53L_0 = 2,5D_0$, откуда $L_0 = 5,3D_0$. При этом

$$L_{\pi} = 2,8D_0. \quad (89')$$

Аналогичным путем при $d_6 = 1,5D_0$, $d_m = 1,05D_0$ и при $L_{\text{выс}} = 2,5D_0$ получим $L_0 = 6,4D_0$, откуда

$$L_{\pi} = 0,61L_0. \quad (90)$$

Эти соотношения получены Н. В. Гусевым на основании экспериментальных данных и могут быть использованы при построении конических ручьев. Им же проверены условия высадки заготовок длиной $L_0 \leq 10D_0$, причем оказалось, что $L_{\text{выс}}$ может достигнуть $3D_0$.

А. Д. Томленов показал, что условие осадки заготовки без образования складок заключается в том, что наибольший допустимый эксцентриситет действующей силы не должен превышать некоторой определенной величины l_p . Если иметь в виду, что направления продольного изгиба различны, то возможно определить радиус $r = l_p$ круга, через который должно проходить направление силы при высадке прутка с допустимым продольным изгибом. Называя этот круг пластическим ядром сечения, А. Д. Томленов установил, что его радиус $r = l_p \approx 0,2D_0$. Условия высадки, допускаемой за одну операцию, установлены величиной

$$k \leq 1,2 + 0,2n,$$

но не более 3,

где $k = \frac{L_{\text{выс}}}{D_0} = \frac{L_0 - L_{\pi}}{D_0}$ — относительная длина высадки;

$n = \frac{L_0}{D_0}$ — относительная длина высаживаемой заготовки.

Зная k , нетрудно установить относительную глубину полости пуансона

$$i = \frac{L_{\pi}}{D_0} = n - k.$$

Расчетную длину заготовки находят при делении объема поковки на поперечное сечение прутка:

$$L_0 = \frac{V_{\text{пок}}}{F_{\text{заг}}}.$$

Во избежание переполнения ручья из-за колебаний размеров заготовки объем его увеличивают на 5—6%.

Для упрощения расчетов размеров ручья построена диаграмма (рис. 267), на которой по оси абсцисс отложена величина $c = \frac{d_6}{d_m}$.

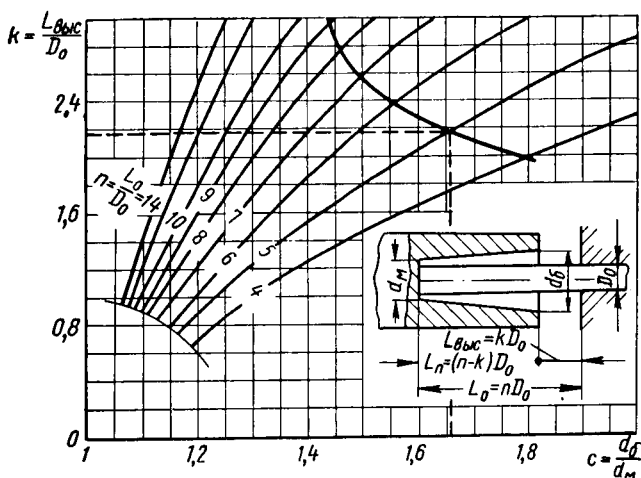


Рис. 267. Соотношения размеров при конической высадке (по А. Д. Томленову)

Если $d_m > D_0$, то $c = \frac{d_6 d_m}{D_0^2}$; если же $d_m = D_0$, то $c = \frac{d_6}{D_0}$.

По оси ординат отложена величина $k = \frac{L_{\text{выс}}}{D_0} = \frac{L_0 - L_n}{D_0}$.

Пучок кривых соответствует заготовкам различных относительных длин $n = 4 \div 14$.

Пример расчета конического ручья. По объему горячейковки с учетом увеличения объема ручья на 5–6% (во избежание его переполнения) определяют $L_0 = 100$ мм при $D_0 = 20$ мм

Расчет по формуле (90) при $d_6 = 1,5D_0$, $d_m = 1,05D_0$ и $L_0 : D_0 = \frac{100}{20} = 5,0$ дает

$$L_n = 0,61L_0 = 61 \text{ мм};$$

$$L_{\text{выс}} = L_0 - L_n = 100 - 61 = 39 \text{ мм};$$

$$d_6 = 1,5D_0 = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ мм};$$

$$d_m = 1,05 \cdot 20 = 21 \text{ мм};$$

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_6 + d_m}{2} = 25,5 \text{ мм}.$$

Следующий ручей может быть окончательным, так как

$$L_n : d_{\text{ср}} = 61,0 : 25,5 = 2,4,$$

т. е. меньше предельного. По А. Д. Томленову

$$n = \frac{L_0}{D_0} = \frac{100}{20} = 5,0.$$

По диаграмме (рис. 267) находим точку пересечения луча $n = 5$ с граничной кривой, которой соответствуют $k = 1,2 + 0,2n = 2,2$ и $c = 1,65$ (этот случай расчета показан на диаграмме штрихпунктирными линиями).

Тогда при $d_6 = cD_0 = 1,65 \cdot 20 = 33,0$ находим

$$d_m = 1,05D_0 = 1,05 \cdot 20 = 21 \text{ мм};$$

$$L_{\text{выс}} = kD_0 = 2,2 \cdot 20 = 44 \text{ мм}; \quad L_n = (n - k) D_0;$$

$$L_n = (5 - 2,2) 20 = 56,0 \text{ мм}; \quad d_{\text{ср}} = \frac{33,0 + 21,0}{2} = 27 \text{ мм}.$$

Следующий ручей может быть окончательным, так как

$$L_n : d_{\text{ср}} = 56,0 : 27,0 = 2,07,$$

т. е. меньше предельного n' .

Расчет по этому методу дает возможность получить набор ббльшей величины.

Если при расчете получается, что после конической высадки $L_n > n'd_{\text{ср}}$, то для набора необходимо предусмотреть второй ручей, который рассчитывают по средним размерам конуса L_n и $d_{\text{ср}} = \frac{d_6 + d_m}{2}$. Число наборных ручьев в отдельных случаях может достигать четырех (например, при высадке поковок типа клапанов).

Формовочные ручьи. В зависимости от объема поковки и выбранного диаметра исходного прутка формовать можно непосредственно от прутка (при $L_0 \leq n'D_0$) или после предварительного набора металла (при $L_0 > n'D_0$). Чем сложнее конфигурация поковки, тем больше операций нужно для ее формовки. Формуют в матрице (рис. 268, а), в пуансоне (рис. 268, б) или частично в матрице и пуансоне (рис. 268, в).

Положение главной плоскости разъема на рис. 268 обозначено линией I—I, а дополнительной плоскости разъема, проходящей через матрицу, линией II—II. Формовка в разъемной матрице (рис. 268, а) позволяет штамповать без уклонов. Но получаемая при этом точность меньше, чем при штамповке в пуансоне (рис. 268, б), так как смещение частей матрицы относительно друг друга приводит к искажению формы поковки.

Допуски на размеры поковки зависят от положения плоскостей разъема

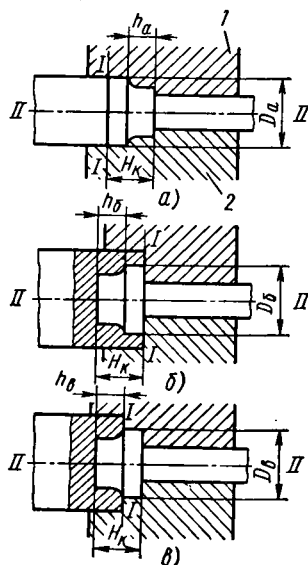


Рис. 268. Различные положения поковки в штампах (горизонтальный разрез штампов вид сверху):

1 — неподвижная часть матрицы; 2 — подвижная часть матрицы

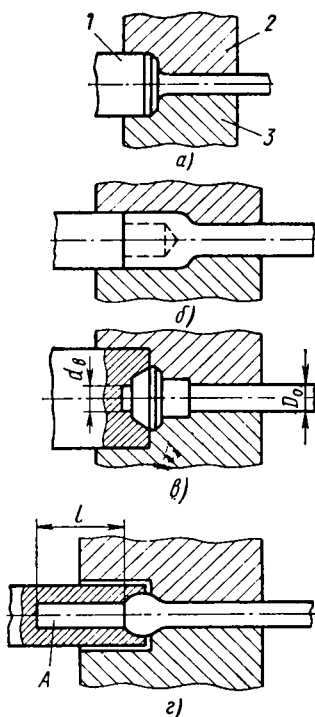


Рис. 269. Различные схемы высадки:

1 — пуансон; 2 — неподвижная и 3 — подвижная части матрицы

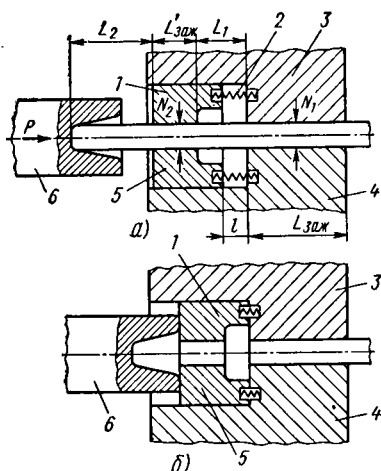


Рис. 270. Высадка в скользящих матрицах:

а — начальная; б — конечная стадии (разрез вид сверху)

штампа. Так, размеры h_a и h_6 могут быть более точными, чем размер h_b , граничащий с плоскостью $I-I$ разреза штампа. Допуск на общую высоту поковки H_k принимают одинаковым для всех трех случаев, показанных на рис. 268. Допуск на размер D_6 меньше, чем на размеры D_a и D_b , так как на точность последних влияет смещение частей матриц по плоскости $II-II$ разреза.

Формовка в пуансоне обеспечивает полное соответствие формы поковки и полости, но при этом необходимы штамповочные уклоны ($1-2^\circ$), приводящие к напускам металла.

В зависимости от необходимой точности отдельных размеров и формы поволоков применяют то или иное расположение полости. На рис. 268, а показана штамповка в закрытом штампе, а на рис. 268, б, в — в штампе открытого типа.

Штамповка в открытых штампах поволоков сложной формы из прутков обычной точности без достаточной подготовки в подготовительных ручьях сопровождается появлением заусенца в плоскости $I-I$. Этот заусенец удаляется в обрезном ручье штампа (по типу обычных обрезных) на этой же машине.

В отдельных случаях формовка сопровождается только высадкой металла (рис. 269, а), высадкой и прошивкой с образованием глухой полости (рис. 269, б) и высадкой с выдавливанием

(рис. 269, в) с образованием в полости пуансона выступа, диаметр которого меньше диаметра исходного прутка ($d_b < D_0$).

Если форма поковки требует того, чтобы высадка (набор или формовка) осуществлялась на некотором расстоянии l от конца прутка, то для недеформируемой части прутка предусматривают в пуансоне соответствующую полость А (рис. 269, г).

При необходимости высаживать прутки на большом расстоянии от его конца деформируемая часть прутка не может быть размещена в пуансоне. В этих случаях применяют скользящие матрицы (рис. 270). Задние части блоков матриц 3 и 4 зажимают прутки силой N_1 на длине $L_{\text{зж}}$. В передних частях этих блоков размещают скользящие ползушки 1 и 5 с полостями матриц и дополнительным зажимным ручьем на участке $L'_{\text{зж}}$. Таким образом, прутки оказываются зажатыми по обе стороны участка L_1 , подлежащего высадке. При нажатии пуансона 6 на прутки или на скользящие части матриц они перемещаются на величину l ; при этом происходит деформация на участке прутка L_1 . При обратном ходе пуансона после разжатия матриц скользящие их части возвращаются в исходное положение с помощью пружин 2. Одновременно с высадкой в скользящих матрицах можно высаживать на конце прутка (на длине L_2). В скользящих матрицах можно также высаживать одновременно несколько утолщений (рис. 271).

Если высаживаемое утолщение находится не на конце прутка и не может быть выполнено за один переход, то перед формовкой осуществляют набор металла в нескольких скользящих матрицах. На рис. 272 приведен пример высадки за четыре операции, из которых три первых наборные, а четвертая — формовочная. Для лучшей центровки заготовки последующие ручки размещены попеременно в скользящей и не скользящей частях матриц.

Формовка обеспечивает получение окончательных размеров и формы поковки, поэтому объем и размеры полостей формовочных ручьев соответствуют «горячим размерам» поковки. На рис. 273

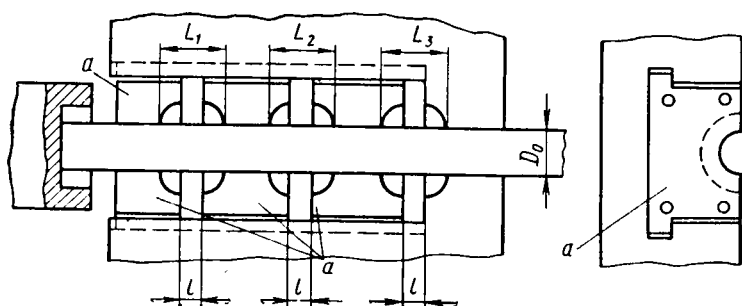


Рис. 271. Одновременная высадка четырех утолщений, три из которых получают в скользящих матрицах

l — ход скользящей матрицы; L_1-L_3 — исходные длины высадки; a — скользящие части матриц (вид на правый блок матрицы)

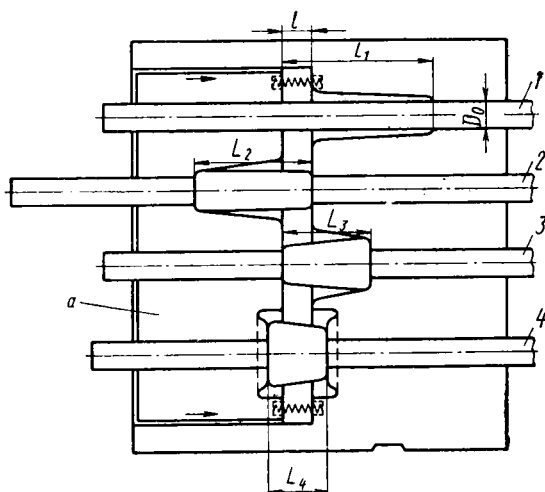


Рис. 272. Набор и формовка металла в многопереходных скользящих матрицах:

а — скользящая часть матрицы (вид на неподвижный блок матриц); 1 — ход скользящей матрицы; L_1 — L_4 — исходные длины высадки переходов 1, 2, 3, 4

приведены кривые изменения усилий при высадке поковки с фланцем и полостью в наборном и формовочном ручьях. Так как объем полости наборного ручья больше объема металла, предназначенного для высадки, то кривая усилия достигает в конце хода пуансона всего 705 кН. При высадке конуса образуется наметка полости, облегчающая ее образование в следующем формовочном ручье. Вследствие заполнения металлом формовочного ручья усилие резко возрастает и достигает в конце рабочего хода пуансона 4070 кН. При штамповке в закрытом штампе с большим избытком объема металла конечное усилие может превысить допустимую величину, т. е. произойдет перегрузка машины.

Прошивные ручьи. Назначение прошивки состоит в образовании полостей у поковок с глухими или сквозными отверстиями.

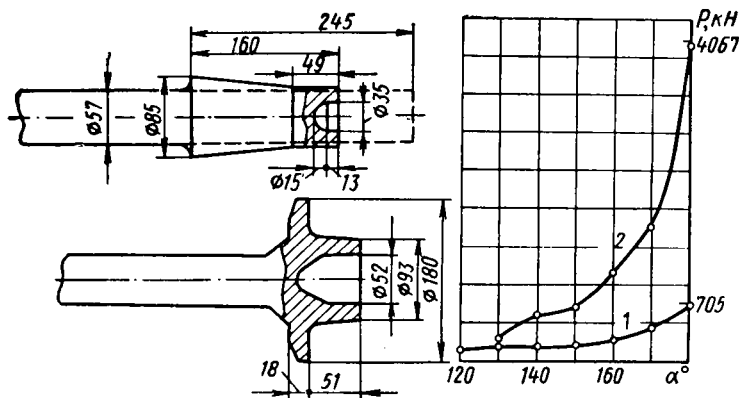


Рис. 273. График усилий при высадке (по В. И. Залескому):

α — угол поворота кривошипа вала машины; 1, 2 — переходы

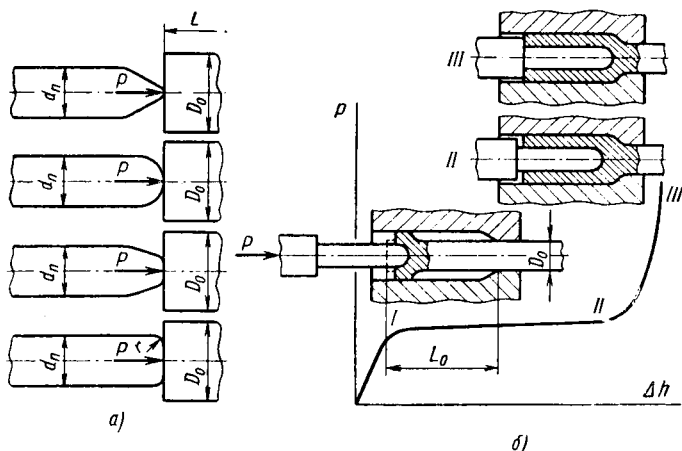


Рис. 274. Форма прошивных пуансонов (а) и соответствующий график «усилие—рабочий ход» при глубокой прошивке (б)

Прошивка называется глубокой, если глубина прошиваемой полости значительно больше диаметра заготовки. Для глубокой прошивки применяют пуансоны различной формы (рис. 274, а) в зависимости от требуемой формы дна полости поковки, вида последующей операции и соотношения размеров заготовки ($L_0 : D_0$).

По мере внедрения рабочей части пуансона в металл усилие прошивки возрастает (рис. 274, б) до положения I на кривой, соответствующего полному погружению рабочей части пуансона в металл. На некотором участке диаграммы до положения II усилие почти не изменяется. На конечном участке диаграммы до положения III кривая усилия резко поднимается, что соответствует формовке поковки в замкнутой полости штампа.

Для нормального протекания прошивки необходимо, чтобы диаметр пуансона d_n не был слишком большим по сравнению с диаметром D_0 . Если $d_n = D_0$, то имеет место осадка. Прошивку выполняют при $d_n : D_0 \leq 0,75$. На практике принимают $d_n : D_0 \leq 0,5 \div 0,6$. При $d_n = 20$ мм не обеспечивается достаточная стойкость пуансона из-за быстрого его разогрева.

Осадка при прошивке более вероятна в начале процесса. Чем больше $d_n : D_0$ и $L_0 : D_0$, тем более вероятна осадка при прошивке. При $L_0 : D_0 > 3$ происходит продольный изгиб заготовки.

В результате осадки высота заготовки уменьшается и при дальнейшей прошивке в штампе происходит обратное выдавливание металла между пуансоном и матрицей.

Выдавливание металла при прошивке может быть и при отсутствии осадки, если длина заготовки меньше длины поковки.

При осадке длина заготовки уменьшается, при выдавливании увеличивается, а при радиальной раздаче металла не изменяется.

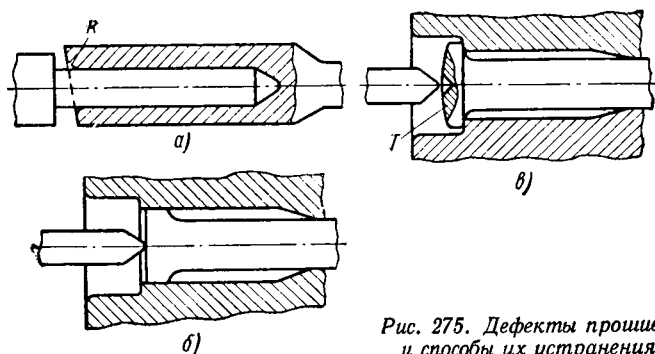


Рис. 275. Дефекты прошивки и способы их устранения:

а—утяжка, косина торца и разностенность прошивой поковки; *б*—прошивка заготовки с опорным утолщением; *в* — прошивка заготовки с компенсирующим утяжку утолщением и опорным буртом

Поэтому для прошивки может быть использована заготовка, длина которой равна длине поковки, длиннее или короче ее. Прошивка путем радиальной раздачи металла удастся только в заготовках при небольших отношениях $L_0 : D_0$ и $d_n : D_0$.

Плоский пуансон в конце хода обеспечивает обычно наименьшие усилия прошивки и создает благоприятные условия для последующей просечки дна.

При глубокой прошивке получается утяжка металла на участке заготовки, смежном с местом погружения в нее пуансона (*k*, рис. 275, *а*). Утяжка появляется лишь в начале прошивки, когда рабочая часть пуансона внедряется в металл.

Для устранения утяжки поковку осаживают или механически удаляют некоторый слой металла со стороны ее торца, что усложняет и удорожает процесс. На рис. 275, *а* показаны разностенность и косина поковки, появляющиеся вследствие смещения пуансона или заготовки в сторону. Это особенно заметно при большой длине заготовки и наличии скоса на ее торце. Чтобы обеспечить устойчивость заготовки в процессе прошивки, на ней по диаметру ручья предварительно высаживают опорное утолщение (рис. 275, *б*). Для устранения утяжины, косины и разностенности на торце заготовки образуют бурт с компенсирующей выпуклостью (*T* на рис. 275, *в*). Этот бурт способствует радиальной раздаче металла при прошивке. Если бурт не нужен на детали, то его удаляют обрезкой подобно заусенцу в обрезном ручье.

При большой глубине прошивки вследствие значительной затраты работы маховик горизонтально-ковочной машины расходует много накопленной энергии, при этом резко уменьшается частота вращения маховика, что может вызвать остановку машины. Поэтому глубокую прошивку осуществляют в многоручьевом штампе, подразделяя ее на несколько операций в соответствии с допустимым уменьшением частоты вращения маховика за каждый ход машины.

Для расчета числа ручьев приводим следующий пример. Для глубокой прошивки поковки подсчитана необходимая работа (по площади графика «усилие—рабочий ход»), равная 178 кДж.

По данным каталога работа, обеспечиваемая горизонтально-ковочной машиной усилием $P = 3000$ кН за один ход при 10 %-ном торможении, соответствует 88 кДж. При высадке можно допустить уменьшение частоты вращения маховика на 30%. Энергию, отдаваемую маховиком, можно установить из соотношения

$$\frac{A_{10}}{A_{30}} = \frac{n_n^2 - n_{10}^2}{n_n^2 - n_{30}^2},$$

где A_{10} — работа маховика при 10%-ном торможении 88 кДж; A_{30} — то же при 30%-ном торможении (искомая величина); n_n — номинальная частота вращения маховика (950 об/мин); n_{10} — частота вращения маховика в минуту при 10%-ном торможении:

$$n_{10} = 950 - 0,1 \cdot 950 = 855 \text{ об/мин};$$

n_{30} — то же при 30%-ном торможении:

$$n_{30} = 950 - 0,3 \cdot 950 = 665 \text{ об/мин},$$

тогда

$$A_{30} = \frac{9000}{950^2 - 855^2} (950^2 - 665^2) = 236 \text{ кДж}.$$

С учетом к. п. д. шатунно-кривошипного механизма $\eta = 0,4$ получаем полезную работу

$$236 \cdot 0,4 = 94,4 \text{ кДж}.$$

Из сравнения необходимой работы с той, которую может выполнить машина, находим число ручьев для глубокой прошивки

$$\frac{178}{94,4} < 2.$$

Принимаем что должно быть два ручья.

Практически глубина прошивки не превышает трех-четырёхкратной величины диаметра полости. Обычно вначале прошивают более заостренными и тонкими пуансонами для уменьшения утяжки и создания более благоприятных условий для радиальной раздачи металла.

Если при прошивке используют пуансоны одинаковых размеров, то в каждом последующем ручье применяют пуансоны с меньшим продольным уклоном для уменьшения потерь на трение. Таким образом, на горизонтально-ковочных машинах штампуют снарядные стаканы и подобные им поковки.

Если поковка должна быть с очень тонкими стенками, а отношение $L_0 : D_0$ значительно меньше 3, то заготовку, прошитую в обычных условиях, протягивают сквозь кольцо (рис. 276, а) или применяют прямое выдавливание (рис. 276, б) в одном из ручьев горизонтально-ковочной машины.

Пробивной ручей. Для поволоков со сквозными отверстиями после формовки или глубокой прошивки полости необходима пробивка донной части в пробивном ручье (рис. 277, а), в котором прутки свободно размещены в матрице, упираясь высаженной частью в нож с режущей кромкой 1. Поковка установлена в соот-

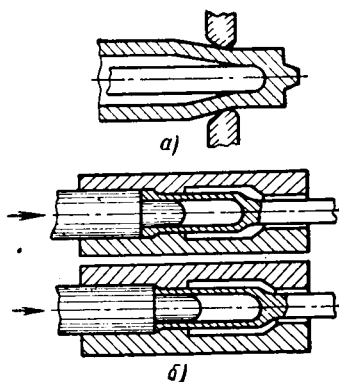


Рис. 276. Способы утонения стенок проштампованных заготовок

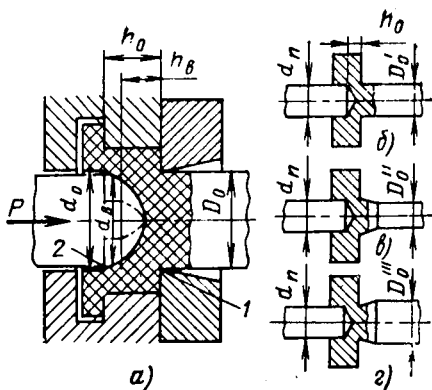


Рис. 277. Удаление дна поковки и варианты этой операции (вид сверху)

ветствующей полости штампа матрицы, которая направляет пуансон с плоским торцом и режущей кромкой 2. В начале просечки под действием силы P пуансон сминает все увеличивающийся по мере своего продвижения кольцевой слой металла (указан условной штрихпунктирной линией). В некоторый момент сопротивление срезу по кольцу высотой h_b и диаметром d_0 становится меньше сопротивления смятию металла и происходит пробивка поковки. При этом

$$\frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_b^2) \sigma_{\text{см}} > \pi d_0 h_n \sigma_{\text{ср.}}$$

График «усилие — рабочий ход» при пробивке представляет собой кривую с максимумом аналогично графику при резке металла на ножницах (см. рис. 22) или при обрезке заусенца.

Для нормальной пробивки поковки (рис. 277, б) необходимо, чтобы диаметр прутка D_0'' был меньше диаметра полости d_n на величину нормального зазора при резке металла ножами ($\sim 5\%$ от h_0). На практике не всегда удается выдержать это соотношение, в связи с чем прибегают к следующим приемам. Если формировать удобно из прутка меньшего диаметра, чем диаметр полости ($D_0'' < d_n$), то применяют формовку с утолщением прутка (рис. 277, в). Если необходимо штамповать поковку из прутка большего диаметра, чем диаметр полости ($D_0'' > d_n$, большой объем поковки и малый диаметр отверстия), то применяют пережим прутка (рис. 277, г). Для заполнения радиусов полости штампа размер h_0 стараются получить по возможности небольшим, что также уменьшает усилие пробивки.

Обрезной ручей. Если штампуют на горизонтально-ковочных машинах в открытом штампе, то для заполнения ручья допускается образование заусенца. Заусенец обрезают в одном из ручьев штампа. Объем заусенца, получающегося при штамповке от

прутка, меньше, чем при штамповке мерных заготовок за счет более значительного выдавливания металла в зажимной ручей. В штампах горизонтально-ковочных машин специальных канавок из-за малого объема заусенцев не применяют. Образующийся плоский заусенец удаляют в обрезном ручье, конструкция которого такая же, что и у обычного обрезного инструмента.

Ручьи для трубных заготовок. Горизонтально-ковочные машины удобны для обработки труб, особенно большой длины, когда высадка является единственно возможным способом получения фланцев и утолщений на конце труб. На практике широко применяют высадку труб для большого числа разнообразных трубных поковок (рис. 278). Внутренний и наружный диаметры трубы (рис. 278, а) можно увеличить за счет утонения трубы и без него. При необходимости можно получить фланец (рис. 278, б), утолщение внутрь (рис. 278, в), а также утолщение, выступающее наружу и внутрь трубы (рис. 278, г). Инж. А. Н. Дунаев экспериментально установил допустимые соотношения размеров трубных заготовок, которые могут быть использованы при расчете переходов высадки труб.

1. При высадке на концах трубы (рис. 278, б) $h_{\phi} = (0,25 \div 0,5)\delta$ (где $\delta = \frac{d_n - d_{вн}}{2}$) можно получить фланцы диаметром $D_{\phi} = (2 \div 2,5) d_n$.

2. При $h_{\phi} \leq 0,75d_n$ и $D_{\phi} \leq \sqrt{d_n^2 + 0,75d_{вн}^2}$ утолщения на концах труб можно высаживать за две операции: первая — высадка внутрь трубы до $d_n \geq \frac{d_{вн}}{2}$ (рис. 278, в) и вторая — увеличение внутреннего диаметра до исходного и наружного диаметра до заданного размера D_{ϕ} (рис. 278, б).

3. При $h_{\phi} \geq 0,75d_n$ и $D_{\phi} \leq \sqrt{d_n^2 + 0,75d_{вн}^2}$ трубу высаживают за три операции, две из которых наборные.

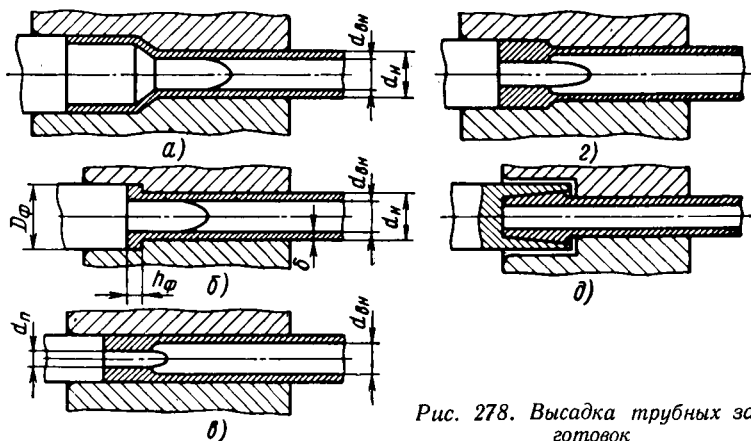


Рис. 278. Высадка трубных заготовок

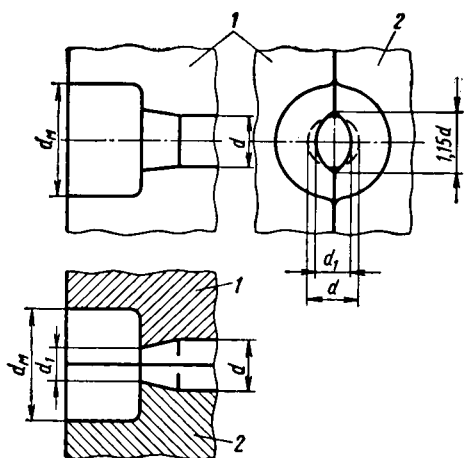


Рис. 279. Конструкция овального пережимного ручья:

1 — неподвижная и 2 — подвижная части матрицы

Уменьшать внутренний и увеличивать наружный диаметры трубы можно одновременно. Однако последовательная высадка (сначала внутрь, а затем снаружи, рис. 278, з) протекает в более благоприятных условиях. При необходимости конец трубы можно высаживать и в коническом пуансоне (рис. 278, д).

Ручьи для операций, совершаемых подвижной матрицей. В рассмотренных ручьях деформации происходили силой основного кривошипного механизма машины. У горизонтально-ковочных машин деформации осуществляются также силой, развиваемой при боковом ходе подвижной матрицы. Рассмотрим соответствующие ручьи.

Пережимной ручей. Для уменьшения в каком-либо месте поперечного сечения заготовки (например, для обеспечения нормальных условий просечки поковок, см. рис. 277, з) служит пережимной ручей. Прутки пережимают боковым перемещением пережимных матриц. Механизм бокового хода горизонтально-ковочных машин может быть использован только для сравнительно небольших деформаций, которые достаточны для пережима прутков. Во избежание вытеснения металла между вставками режущих матриц и последующего образования зажимов на поковках допускается пережим с круга на круг за один ход машины не более чем на 5% по диаметру. Большой пережим осуществляют в двух или трех ручьях с кантовкой прутка на 90°.

Эту операцию выполняют в овальных ручьях (рис. 279), и только последний пережимной ручей имеет круглую форму. Рядом с высадочной полостью матрицы диаметром d_m размещена пережимная часть ручья. Часть ручья диаметром d относится к зажимному ручью. В месте пережима (малая ось овала d_1) металл перемещается частично вдоль оси прутка, а частично вдоль большой оси овала в уширение, которое в этих условиях не превышает 15%, поэтому большую ось овала ручья принимают равной $1,15d$.

При пережиме прутков различных диаметров на одну и ту же относительную величину объем металла, вытекающего за пределы ручья и образующего впоследствии зажимы, больше у крупных прутков. Для прутков диаметром 20—80 мм получаемый пережим

на 10% больше, чем для прутков диаметром более 80 мм. В авто-тракторной промышленности пережим прутков на 45% по диаметру получают в овальном ручье и в ручье с круглым сечением. При пережиге на 55% применяют два овальных ручья и один круглый. Очередной пережим после кантовки прутка можно выполнить за второй ход машины в том же овальном ручье, но так как пережимные ручьи могут быть сопряжены с другими ручьями многоручьевого штампа, то, чтобы не снижать производительности работы, нецелесообразно применять пережим, требующий повторных ходов. Необходимость кантовки прутков на 90° при пережиге приводит к ограничению применения пережимных ручьев для поковки, не являющихся телами вращения.

Отрезной ручей. Поковки без отверстий могут быть отделены от прутка ножами, действующими от бокового хода. Существуют две разновидности конструкции отрезных ручьев (рис. 280). В одном случае (рис. 280, а) ножи *n* и *m* расположены так, что поковка (или часть прутка для высадки) остается неподвижной, а пруток сдвигается под действием ножа *m*, установленного на левом подвижном блоке матриц. В другом случае (рис. 280, б) поковка (или часть прутка для высадки) сдвигается относительно неподвижного прутка с помощью ножа *n*, укрепленного на подвижной матрице. Во избежание смещения конца прутка при его разрезке устанавливают скобу *к*, которая поддерживает пруток в нужном положении.

При отрезке прутков ножами, действующими от бокового хода, главный ход машины можно использовать для высадки отрезанной заготовки, поскольку боковой ход заканчивается раньше, чем начинается высадка прутка. В одном ручье отрезают прутки диаметром до 30 мм. В двух ручьях за два приема можно отрезать прутки диаметром до 80 мм. Если отрезка не совмещается с высадкой, то разрезной ручей устанавливают (из экономии места) на зеркале блока между какими-либо ручьями как можно ближе к середине высоты блока. Форма ножей аналогична применяемой для ножниц (см. рис. 27).

Ручей для плющения. При необходимости боковой ход машины можно использовать для расплющивания высаженных головок. Этим ходом машины можно также получать углубления, ось которых перпендикулярна оси прутка. При деформации поковки с боковым ходом следует иметь

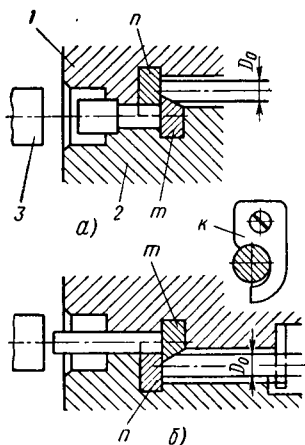


Рис. 280. Отрезной ручей:

1—левая и 2—правая части матрицы; 3—пуансон

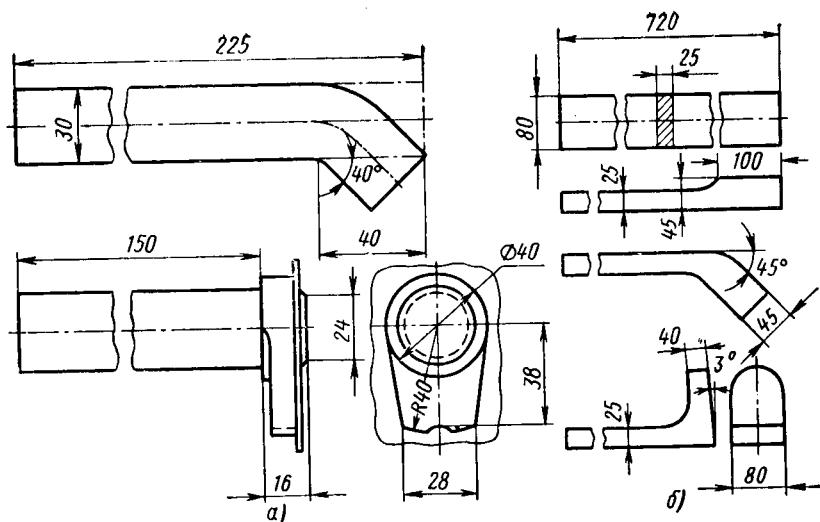


Рис. 281. Гибка в штампах горизонтально-ковочной машины

в виду сравнительно небольшую длину полезного хода и небольшое усилие. Этот ход горизонтально-ковочных машин даже большой мощности составляет не более 10—15 мм при усилии, не превышающем 30% от номинального, развиваемого машиной на пуансоне в конце рабочего хода.

Г и б о ч н ы й р у ч ь и. На горизонтально-ковочных машинах можно выполнять гибочные операции. Однако гибка не является типичной операцией для горизонтально-ковочных машин и бывает необходима при получении несимметричных головок для предварительного перераспределения металла (рис. 281, а) или изгиба заготовки в соответствии с требуемой формой поковки (рис. 281, б). Изгибают с помощью поперечного или главного ползунов машины.

З а ж и м н ы е р у ч ь и. Зажимные ручки в отличие от всех других предназначены не для деформации прутка, а для его удержания при высадке.

На практике применяют гладкие зажимные ручки (рис. 282, а) или рифленые (рис. 282, б—г).

Для зажима гладкими зажимными ручьями по сравнению с рифлеными требуется участок прутка большей длины $L_{\text{зж}}$; гладкий зажим не оставляет следов на прутке. Так как длина зажима при штамповке от прутка определяет длину концевой отхода, то необходимо, чтобы зажимной ручей был как можно меньшей длины. С этой целью применяют рифленые ручки с канавками (рис. 282, б) или выступающими поясками (рис. 282, в). Для еще большего укорочения зажимной матрицы применяют ручки с канавками, в промежутке между которыми наплавлены

(например, автогеном) бугорки, возвышающиеся над рабочей поверхностью матрицы. Зажимной ручей очень небольшой длины выполняют с острыми пилообразными зубцами (рис. 281, з). Металл при зажиме полностью не затекает в острые углы этого ручья, зубцы же оставляют на прутке следы. Ручей такой формы можно применять лишь в тех случаях, когда нет опасности образования складок при последующей высадке части прутка, находившейся в зажиме.

При наличии в штампе нескольких зажимных ручьев рифление в виде канавок или выступающих поясков целесообразно располагать таким образом, чтобы следы его на прутке не совпадали со следами от рифления при деформации прутка в следующем ручье.

Профиль зажимных ручьев (см. А—А, рис. 282, а) строят исходя из того, что матрица в направлении зажима должна иметь размер, равный минимальному размеру прутка $D_0 - \frac{\Delta}{2}$, а в плоскости разреза — максимальному размеру прутка $D_0 + \frac{\Delta}{2}$ (в холодном состоянии). Для прутков повышенной точности разница этих размеров не превышает $D_0 \pm 1,2\%$ от диаметра. Расширение прутков при нагревании (примерно на 1,2% при 850—900°С) обеспечивает плотное зажатие прутков данного размера с уче-

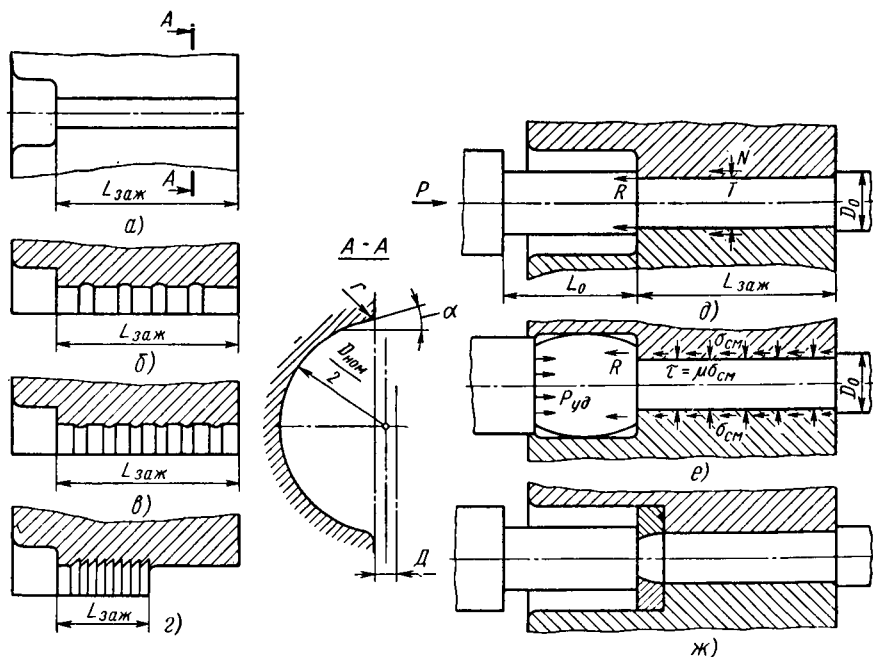


Рис. 282. Зажимные ручьи и схема действующих сил при зажиме прутка

том допусков. Для размещения избыточного металла при наибольшем размере прутка служит развал сечения ручья под углом $\alpha = 30 \div 45^\circ$ по месту разъема метриц.

Удержанию прутка в ручье способствуют образующиеся при зажиме прутка заплечики (на границе между высаживаемой и зажатой частями прутка), на которые опирается высаживаемая часть прутка (рис. 282, *д*). В процессе высадки заплечики увеличиваются (рис. 282, *е*). Заплечики разгружают зажимной ручей, так как при этом $T + R = P$ или $kT = P$ (k — коэффициент больше единицы, учитывающий наличие у прутка опоры). В случае, когда контактная поверхность между прутком и ручьем соответствует боковой поверхности цилиндра диаметром D_0 и длиной $L_{\text{зж}}$, имеет место соотношение (для начального периода высадки)

$$kL_{\text{зж}}\pi D_0\mu\sigma_{\text{см}} \geq \frac{\pi D_0^2}{4} p_{\text{уд}},$$

откуда

$$L_{\text{зж}} \geq \frac{D_0 p_{\text{уд}}}{4k\mu\sigma_{\text{см}}}, \quad (91)$$

где μ — коэффициент трения; $p_{\text{уд}}$ — удельное усилие высадки, зависящее от температуры конца прутка (обычно $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$) и соотношения размеров $D_0 : L_0$; $\sigma_{\text{см}}$ — сопротивление смятию металла при температуре зажима (обычно $850\text{--}900^\circ\text{C}$); эту величину можно представить как среднее нормальное напряжение на боковой поверхности заготовки.

Из выражения (91) видно, что длина зажима может быть уменьшена при уменьшении диаметра прутка, а также сопротивления деформации (т. е. с повышением температуры высаживаемого прутка) и при возрастании роли заплечиков (коэффициент k), коэффициента трения в зажимном ручье и сопротивления смятию металла в нем (т. е. с понижением температуры зажимного участка прутка). Расчет длины зажимного ручья усложняется тем, что коэффициент k является величиной неодинаковой для прутков с различными допусками и переменной в процессе высадки. В случае пережима прутка (рис. 282, *ж*) роль заплечиков приобретает еще большее значение.

Величина поверхности контакта изменяется в зависимости от изменения фактического допуска на диаметр прутка и теплового расширения стали, которое, в свою очередь, зависит от температуры металла в зажимном ручье. Нетрудно видеть, что для формовочных ручьев с более низкой температурой высадки (после набора металла) и при $L_0 : D_0 < 3$ необходимы зажимы большей длины, чем для наборных ручьев с более высокой температурой высадки и величиной $L_0 : D_0 > 3$ (вследствие меньшего удельного усилия высадки).

Расчет силы трения для рифленого ручья еще более затруднителен, поэтому обычно используют практически установленные

величины $L_{\text{зак}}$. Достигается это пробной штамповкой прутков небольшой длины, насаженных на тонкие стержни. Если установить наименьшую длину прутка, при которой он не выталкивается из матриц, то эту длину можно принять за размер $L_{\text{зак}}$.

При высадке допускается небольшое выталкивание прутка, при этом важно, чтобы оно было одинаковым во всех случаях штамповки данного типа поковок; тогда можно отрегулировать упор так, чтобы поковки, получаемые в закрытых штампах, были без заусенцев. При высадке часть объема металла, находящегося в полости матрицы, выталкивается в зажимной ручей. Очевидно, в этом и состоит одна из причин, по которой объем заусенца в открытых штампах горизонтально-ковочных машин меньше объема заусенца в штампах аналогичного типа при штамповке на молотах и прессах.

В действующих нормалях и во многих пособиях по штамповке для расчета длины зажима рекомендуют эмпирические формулы в функции диаметра заготовки. Например, для гладкого ручья рекомендуют $L_{\text{зак}} = 2,5D_0 + 50$ мм, а для рифленого $L_{\text{зак}} = 2,0D_0 + 30$ мм. При этом имеется в виду, что чем больше размер машины, тем больше диаметр высаживаемой заготовки, а также поковки. Это должно привести к большей силе зажима в соответствии с большим необходимым усилием на высадку. Правильнее длину зажима $L_{\text{зак}}$ определять экспериментальным путем, что и практикуется на заводах.

Задние упоры. Эти упоры служат для удержания в заданном положении мерной заготовки в процессе ее высадки (рис. 283). Для высадки на длину L_0 мерной заготовки длиной $L_{\text{заг}}$ ее упирают в жесткий упор, находящийся на расстоянии $L_{\text{заг}} - L_0$ от дна полости матрицы (рис. 283, а). В начале деформации прутка сила P передается на упор, вызывая реакцию R_1 . После образования высаженной головки появляется дополнительная реакция R_2 со стороны дна полости матрицы; при этом задний упор не воспринимает всей силы P . Следовательно, задний упор заменяет передний упор и зажимной ручей. Часть ручья, смежная с полостью матрицы, служит лишь для предотвращения продольного изгиба заготовки, не зажимая ее.

Задний упор применяют в следующих случаях.

1. Если при высадке заготовка не выступает за передний обрез матрицы и передний упор применить нельзя.

2. Когда часть поковки представляет собой пруток, недостаточно качественная отрезка которого боковым ходом машины недопустима по техническим условиям и необходима предварительная отрезка мерных заготовок, например, пилой.

3. Если длина поковки, включая невысаженную часть, меньше длины матрицы.

4. Когда по условиям высадки длина мерной заготовки недостаточна для осуществления зажима.

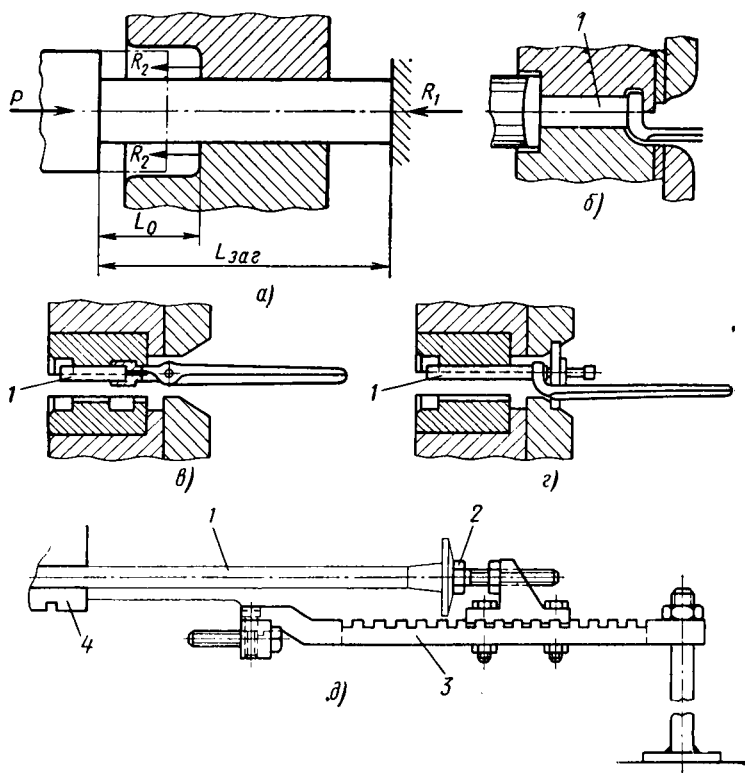


Рис. 283. Конструкции задних упоров:
1 — заготовка; 2 — упорный болт; 3 — рейка; 4 — штамп

Задние упоры подразделяют на типы в зависимости от их расположения: в пределах матрицы; выступают из нее, но находятся в пределах станины или на большом расстоянии от машины (рис. 283).

Простейший упор первого типа (рис. 283, б) представляет собой выступ на неподвижном блоке матрицы. Заготовку 1 закладывают в ручей и удерживают в нем клещами, изогнутыми под прямым углом. Для установки клещей в блоках матрицы предусмотрены соответствующие пазы.

Заготовка, нагретая до высокой температуры, имеет упор не по всему торцу, поэтому на ней вследствие местного смятия может образоваться нежелательный след от упора (ступенька).

При выполнении паза для заднего упора данной конструкции заготовка опирается половиной своего торца и условия ее смятия будут следующими:

$$p_{уд} F \geq \frac{1}{2} F \sigma_{см}; \quad p_{уд} \geq \frac{1}{2} \sigma_{см},$$

т. е. опасность смятия вероятна, если удельное усилие для высадки достигает половины сопротивления смятию торца прутка. Смятие особенно опасно в начальный период высадки до образования в ручье заплечиков, разгружающих упор. Для устранения смятия заготовки необходимо снизить температуру металла вблизи опорного торца или увеличить площадь опоры, например, наваркой. Целесообразно применять так называемый «упор в клещи» (рис. 283, а). Этот тип упора наиболее распространен. Второй тип упора представлен на рис. 283, г. Заготовка упирается в торец регулируемого винта, ввернутого в планку, укрепленную в рабочем вырезе станины машины. Клещи, изогнутые под прямым углом, служат для удержания заготовки в процессе ее высадки. При использовании мерных заготовок очень большой длины применяют упор, смонтированный в виде рейки с выступами (рис. 283, д), которые его удерживают. Длину упора регулируют болтом, в головку которого упирается заготовка.

Такие упоры могут быть использованы также для многометровых трубных заготовок. Тонкую трубную заготовку высаживают с задним упором во избежание смятия ее в зажимных ручьях, а также потому, что она обычно имеет мерную длину.

Задний упор, как и передний упор, применяют только в одном ручье штампа (обычно в первом). При дальнейшей штамповке положение заготовки в ручьях фиксируют с помощью выступов на поковке.

Элементы конструкции штампов. Высадочные штампы состоят из пуансонов и матриц. Пуансоны расположены в блоке пуансонов (называемом также пуансонодержателем), а матрицы — в блоках матриц.

Блоки пуансонов и их крепление. Наибольшее распространение получил тип сплошного блока пуансонов (рис. 284). В правой части блок имеет пазы для фланцевого закрепления хвостовиков пуансонов (в данном случае их три). Блок закрепляют в седле ползуна планкой 3, которая прижимается к нему болтами 5. Болт 4, упираясь в выступ блока, прижимает его к клину 2, который регулирует положение блока (и соответственно положение пуансонов). При подъеме клина (ввертыванием болта 1, упирающегося в ползун) блок передвигается вправо. После установки блока положение его фиксируется болтом 4. Для уменьшения массы литой блок имеет в средней части выемку прямоугольной формы, что уменьшает и облегчает обработку боковых поверхностей блока.

Блоки данной конструкции надежны в работе и при наладке штампов обеспечивают необходимую стабильность положения пуансонов. Такие блоки изготавливают в двух-, трех- и четырех-ручьевом исполнении. Размеры h_6 , b_6 и l_6 увязываются с габаритными размерами соответствующего паза в ползуне машины. Кроме фланцевого крепления применяют блоки с винтовым креплением пуансонов, а также со стяжным их креплением.

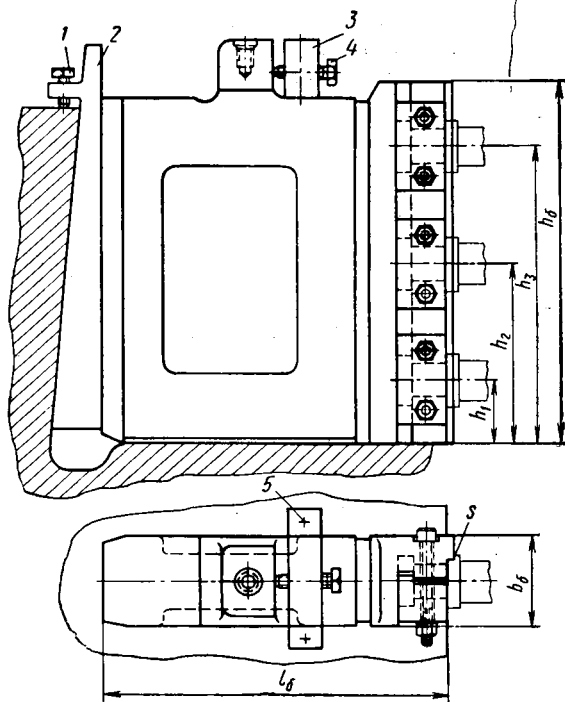


Рис. 284. Блок пуансонов с фланцевым креплением пуансонов в трехручьевом исполнении (h_1 , h_2 , h_3 —расстояния до осей пуансонов)

Крепление пуансонов. Требования, предъявляемые к креплению пуансонов, заключаются в жесткости, возможности регулирования положения пуансона, экономном расходовании штамповой стали, простоте изготовления и удобстве монтажа и демонтажа инструмента. Этим требованиям отвечает наиболее распространенный вид крепления пуансонов с помощью фланцев, закрепляемых болтами (рис. 285, а). Задний бурт пуансона служит опорой при высадке, а заплечики k работают при обратном ходе машины, когда пуансон отходит от поковки. Поворот пуансона предотвращает (что важно для несимметричных поволоков) лыска S , в которую упирается выступ на блоках (см. также рис. 284). Этот надежный тип крепления применяют на машинах средних и больших моделей по усилию.

Другой распространенный тип крепления пуансонов, применяемый на небольших и средних по усилию машинах, показан на рис. 285, б. В этом случае крепление осуществляют наклонным стопорным винтом, который создает некоторый натяг, прижимая пуансон к блоку.

Для предотвращения поворота пуансона используют шпильки с. В целях более экономного расходования штамповой стали применяют пуансоны составной конструкции. На рис. 285, в показан составной пуансон, рабочая часть 2 которого соединяют с крепежной частью 3 гайкой 1. Пуансон (рис. 285, г) клинового типа обеспечивает жесткое соединение крепежной и рабочей частей, но демонтаж его сложен (деформируются клинья, и это затрудняет их удаление). Составной пуансон в данном случае закрепляют сквозным болтом, привернутым гайкой сзади блока, что приводит к съему всего блока при демонтаже пуансона. Быстроизнашивающиеся вставки в полых пуансонах крепят так, как показано на рис. 285, д. Наличие галтели на вставке обеспечивает легкое ее крепление в гнезде (в обойме).

Основные требования, предъявляемые к конструкции составного инструмента, заключаются в экономном использовании стали и отсутствии трудновыполнимых и ненадежных в работе деталей. По этой причине к резьбовым соединениям на пуансонах прибегают лишь в исключительных случаях. Например, при формовке в пуансонах относительно высоких поковок и образовании в них глубоких полостей применяют скользящий пуансон, предотвращающий вытекание металла в заусенец (рис. 285, е); рабочая вставка пуансона имеет резьбовое крепление. В этом случае пружина предназначена для передвижения (на обратном ходу ползуна) наружной рубашки пуансона, которая, упираясь при прямом ходе в матрицу, предотвращает образование заусенца во время высадки поковок. Такая конструкция пуансона позволяет использовать его как штамп с компенсатором (см. схему на рис. 165).

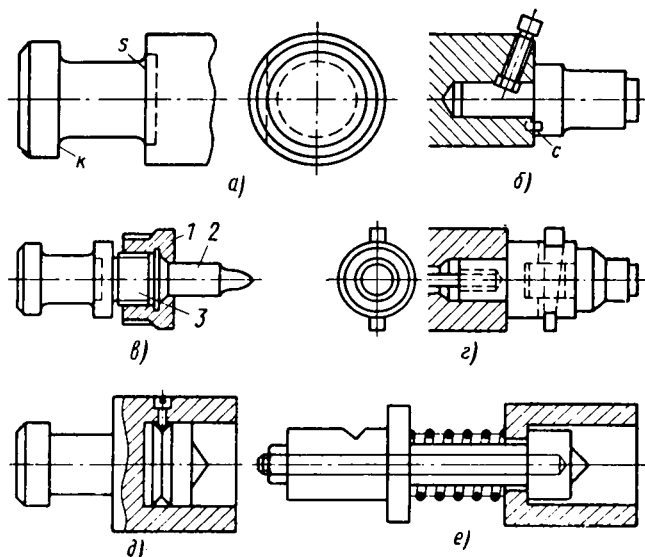


Рис. 285. Крепление пуансонов

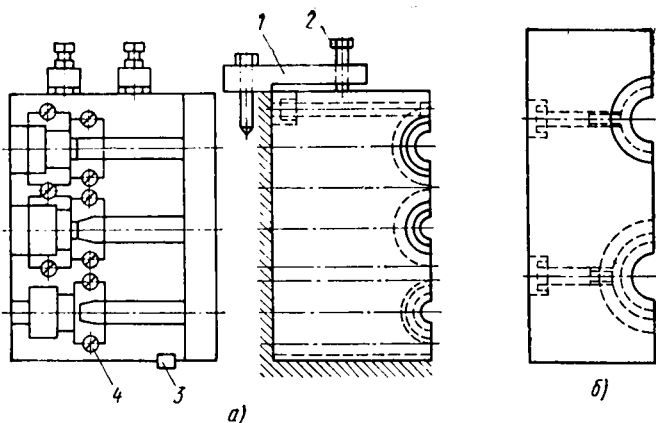


Рис. 286. Блоки матриц

Блоки матриц и их крепление. Блоки, в которых закрепляют части матриц, обычно изготавливают сплошными из конструкционных сталей (например, из стали 45, рис. 286). Правый, неподвижный блок, находится в гнезде станины, а левый, подвижный блок — в боковом ползуне. Так как в рабочем (сомкнутом) положении блоки матриц с трех сторон ограничены опорными поверхностями, то для их установки и крепления применяют накладку 1 с нажимными болтами 2 и направляющие шпонки 3 (рис. 286, а).

Вставки матриц из штамповых сталей, применяемые для всех описанных ручьев, имеют форму полуцилиндра с выемкой, соответствующей части рабочей полости ручья. При соприкосновении двух вставок в конце бокового хода машины образуется вся полость. Вставки закрепляют сквозными болтами 4 с гайками, навинчиваемыми с тыльной стороны блоков. Вставки для матриц могут быть использованы для части ручья, для всего ручья или для двух ручьев в зависимости от стойкости отдельных участков штампа и условий закрепления вставок на блоках. Важно, чтобы можно было заменить наиболее изнашиваемую часть штампа. Однако не всегда на зеркале блоков удастся расположить большое число вставок, поэтому приходится несколько вставок объединять в одну общую.

Небольшие вставки закрепляют одной парой болтов, большие — двумя, а иногда и тремя парами болтов. В виде исключения один болт может быть использован одновременно для крепления двух соседних вставок (рис. 286, а, верхние левые вставки). Наружный диаметр вставок выбирают в зависимости от их прочности, при этом учитывают возможность унификации крепежных гнезд в блоках. Для разгрузки крепежных болтов от напряжений среза необходимо, чтобы вставки упирались непосредственно в блок

матриц. Для этого каждая последующая вставка в направлении усилия высадки должна быть меньшего диаметра, что обеспечивает упор вставок в стенку блоков. Блоки с расположенными в них ручьями (без вставок) используют относительно редко, при небольших сериях выпуска поковок. Штампы без вставок изготавливают из менее дорогих марок стали.

Известно крепление вставок одним болтом, ввинчивающимся с тыльной стороны (рис. 286, б). Эта конструкция проще, но ее недостатком является наличие резьбы во вставке.

Особенности технологии высадки поковок. В рабочем (сомкнутом) положении блоки матриц плотно прижаты друг к другу обычно вставками, немного выступающими по разъему над зеркалом блоков. Во избежание поломки штампов пуансоны не должны приходить в соприкосновение ни с блоками матриц, ни с их вставками. Исключение составляют скользящие матрицы и пуансоны. Положение блоков матриц и их вставок регулируют прокладками.

Регулирование и наладка штампов различны для открытых и закрытых штампов. Продольные размеры закрытых штампов (рис. 287, а) рассчитывают по номинальным размерам перехода без учета упругих деформаций машины, так как при установке и наладке таких штампов можно регулировать в обе стороны положение пуансона относительно матрицы (регулирующим клином и прокладками). Для открытых штампов (рис. 287, б) при расчете длины пуансонов и глубины ручьев необходимо заранее учитывать величины возможных упругих деформаций, так как при регулировании штампов не следует приближать пуансон к матрице во избежание удара их друг о друга при холостом ходе машины, что может привести к разрушению штампов.

Согласно литературным источникам, упругие деформации составляют 1—1,5 мм для машин усилием 3—4 МН, до 3,5 мм для машин усилием 20 МН. Экспериментально установленная величина упругих деформаций для машин усилием 11 МН составляет 2,2 мм.

Ввиду пространственного разъема штампов углы уклона применяют только для глухих полостей в пуансонах и матрицах, а напуски, упрощающие конфигурацию поковки, обычно не требуются (см., например, рис. 264). В связи с этим масса поковок

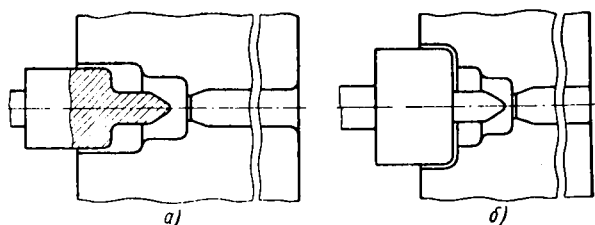


Рис. 287. Регулирование штампов:

а—закрытых; б—открытых

**Допускаемая высота торцовых заусенцев у поковок при штамповке
в закрытых штампах (мм)**

Масса поковки, кг	Степень сложности	Диаметр поковки, мм			
		до 60	свыше 60	до 120	свыше 120
До 0,63	C1, C2	1,0	2,0	2,0	—
	C3	2,5	3,5	3,5	—
	C4	3,0	4,0	4,0	—
Свыше 0,63 до 2,5	C1, C2	2,0	3,0	3,0	4,0
	C3	3,5	4,5	4,5	5,5
	C4	4,0	5,0	5,0	6,0
Свыше 2,5 до 6,3	C1, C2	3,0	4,0	4,0	5,0
	C3	4,5	5,5	5,5	6,5
	C4	5,0	6,0	6,0	7,0
Свыше 6,3 до 16,0	C1, C2	4,0	5,0	5,0	6,0
	C3	5,5	6,5	6,5	7,5
	C4	6,0	7,0	7,0	8,0
Свыше 16 до 40	C1, C2	5,0	6,0	6,0	7,0
	C3	6,5	7,5	7,5	8,5
	C4	7,5	8,5	8,5	9,5
Свыше 40	C1, C2	6,0	7,0	7,0	8,0
	C3	8,0	9,0	9,0	10,0
	C4	10,0	11,0	11,0	12,0

(для одноименных деталей) меньше, чем при штамповке в одно-разъемных штампах.

При определении объема заготовки исходят из объема поковки и типа штампа. Если применяют обычный закрытый штамп, а в качестве заготовок прокат повышенной точности, то учитывают расход металла на заусенец, равный 0,5—1,5%. Этот расход металла можно подсчитать и более точно по табл. 39 с учетом допускаемого заусенца.

Допускаемые высоты заусенцев в закрытых штампах по ГОСТ 7505—74 принимают в зависимости от четырех степеней сложности поковок (C1—C4), которые определяют отношением объема сплошной или полый поковки $V_{\text{пок}}$ к объему $V_{\text{фиг}}$ цилиндра или параллелепипеда, в который вписывается поковка: $C = \frac{V_{\text{пок}}}{V_{\text{фиг}}}$. Соответствующие значения степени сложности следующие: C1 = 0,63 ÷ 1,0; C2 = 0,32 ÷ 0,63; C3 = 0,16 ÷ 0,32; C4 до 0,16

Дополнительным критерием сложности поковок является число переходов при штамповке (для С1 — два перехода, для С2 — три, для С3 — четыре, для С4 — более четырех переходов).

Толщину заусенцев определяют полуразностью поперечных размеров матрицы и пуансона; она не должна превышать 1; 3 и 5 мм для поковок диаметром соответственно до 60, 120 и свыше 120 мм.

Чем сложнее и меньше объем поковки, тем больше относительный объем образующегося заусенца. Если для данной поковки применяют открытый штамп, то фактический объем заусенца зависит от типа применяемого упора. При наличии переднего упора и зажимного ручья образуется сравнительно небольшой заусенец, назначение которого заключается в том, чтобы препятствовать значительному вытеканию металла по месту главного разъема штампов. Остальной избыточный металл выталкивается при продвижении прутка вдоль зажимной матрицы и вытекает в зажимную часть ручья, заполняя область развалки ручья по дополнительной плоскости разъема (в направлении большой оси сечения зажимного ручья), а также в канавки рифленого зажимного ручья.

При наличии заднего упора применяют гладкие ручки без канавок, продвижение прутка вдоль матрицы исключается и значительная часть избыточного металла вытекает по месту разъема штампа, образуя относительно большой заусенец.

Для успешного осуществления технологического процесса высадки очень важно правильно выбрать исходную заготовку. В подавляющем большинстве случаев применяют прутки с круглым профилем сечения, но при необходимости может быть применен профильный прокат, если это оправдывается технико-экономическими соображениями.

При определении размеров заготовки исходят из следующих соображений.

1. Если прутки данного диаметра являются частью поковки в виде стержня с головкой (болты, клапаны, валики с шестеренками, оси с фланцами и т. п.), то его следует принять в качестве исходной заготовки.

2. Для поковок с отверстием целесообразнее принимать диаметр прутка примерно равным диаметру отверстия (см. рис. 277).

3. Чем меньше диаметр прутка, тем больше колебания в объеме заготовки за счет допусков при прокатке и тем вероятнее появление заусенца на некоторых поковках, штампуемых в закрытых штампах. Очень тонкие прутки (менее 15—20 мм) быстро остывают, что приводит к повышению удельного усилия и увеличению неравномерности деформации.

4. Чем больше диаметр прутка, тем меньше общая затрата работы на деформацию (с учетом прокатки), что следует предпочесть. Пруток чрезмерно большого диаметра приводит к малой длине высадки (длина заготовки для высадки должна быть больше высоты поковки).

5. Если поковка отделяется от прутка при ходе поперечного ползуна, то при большом диаметре прутка следует проверить, можно ли осуществить этот процесс на данной машине.

6. Чем больше диаметр прутка, тем больше концевые отходы (при использовании концевых отходов для изготовления поковок указанное обстоятельство не является отрицательным). Применение прутка большого диаметра особенно предпочтительно в тех случаях, когда это приводит к уменьшению числа переходов при штамповке, т. е. к увеличению производительности машины.

7. Тонкие, быстро стынувшие части поковок целесообразно образовывать в первых ручьях, пока металл имеет более высокую температуру.

8. Каждый предыдущий переход должен создавать в матрице опорную поверхность для последующего перехода.

9. Пуансоны должны образовывать в переходах центрирующие углубления: необходимо, чтобы к моменту начала деформации пуансон находился в матрице для обеспечения точности его движения.

10. Набор в пуансонах следует предпочесть набору в матрице из-за отсутствия затекания металла по месту разъема матриц и возможности большей величины высадки за один ход.

Оценивая порядок расположения ручьев по высоте блоков, следует иметь в виду, что передний упор осуществляется проще для верхнего ручья. Наиболее нагруженный ручей лучше расположить ближе к нижней части машины во избежание перекаса блоков. Рассмотрим несколько примеров хорошо отработанных технологических процессов.

На рис. 288 показаны переходы при штамповке одного конца полуоси автомашины за четыре операции (рис. 288, а). Два наборных перехода *I* и *II* и два формовочных *III* и *IV* выполняют в штампе со вставками. В данном случае оба формовочных ручья закрытого типа, что позволяет получать поковки из проката повышенной точности практически без заусенцев. Последний ручей *IV* расположен посредине штампа, так как деформация в нем требует наибольшего усилия.

Поковки втулки с развитым фланцем высаживают в четырехручьевом штампе (рис. 289). Ручей *1* предназначен для набора металла в коническом пуансоне (с отверстием для выхода газов, чтобы избежать незаполнения угла полости). В этом же ручье пережимают прутки диаметром D_0 на эллиптическое сечение. В ручье *2* высаживают фланец с наметкой будущего отверстия, причем для компенсации утяжины при последующей прошивке торец фланца делают выпуклым. В этом же ручье оформляется пережим прутка до диаметра, равного диаметру отверстия поковки, для чего при переносе из ручья *1* в ручей *2* прутки поворачивают на 90° . В ручье *3* оформляют фланец при прошивке с радиальной раздачей металла. Ручей *4* предназначен для пробивки поковки.

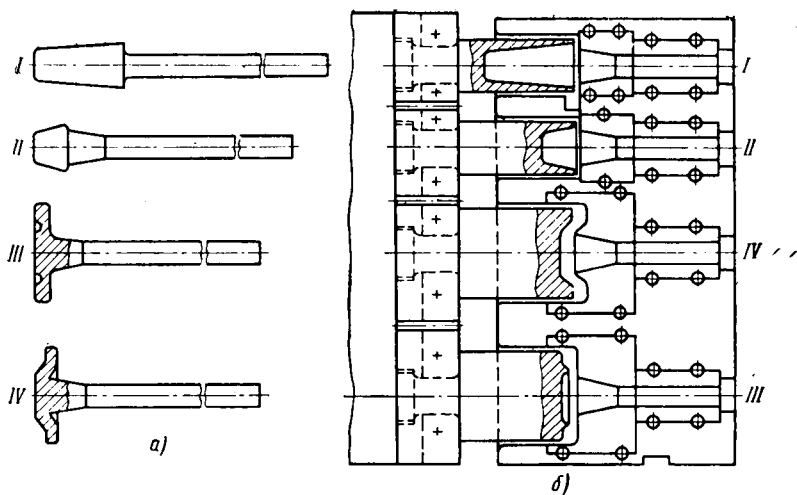


Рис. 288. Технологические переходы (а) и штамп (б) для ковки полуоси автомобиля

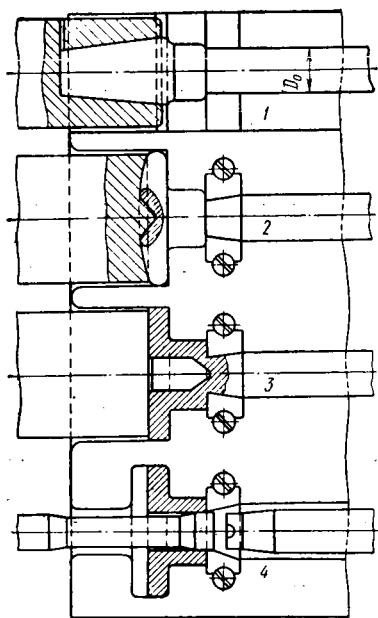


Рис. 289. Переходы высадки, прошивки и пробивки дна ковки втулки

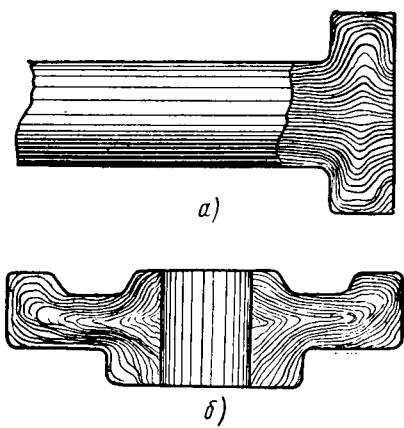


Рис. 290. Макроструктура высаженных поковок:

а — с фланцем; б — шестерни

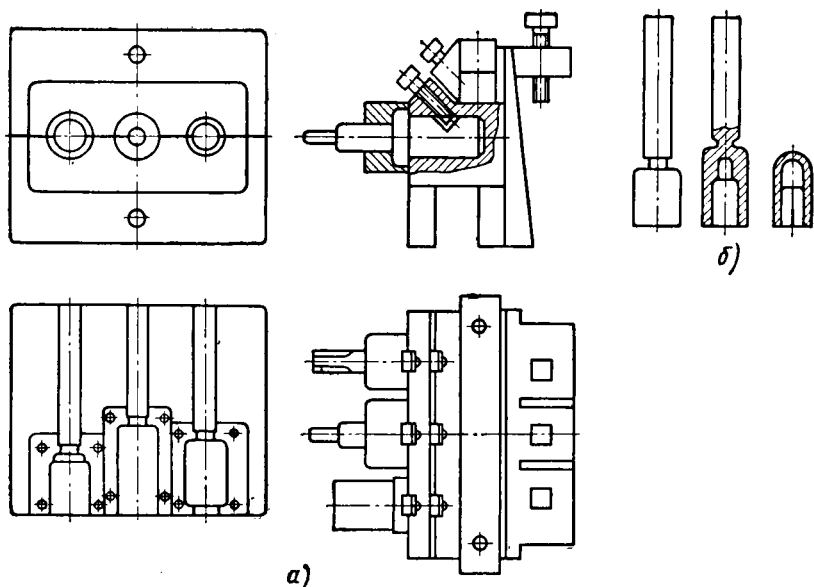


Рис. 291. Штамп (а) и переходы (б) при штамповке втулки на горизонтально-ковочной машине с горизонтальным разъемом матриц

Макроструктура высаженных поковок обеспечивает высокую прочность деталей машин. На рис. 290 показана макроструктура поковки в виде стержня с головкой и поковки с отверстием типа шестерни.

Штамповка на горизонтально-ковочных машинах с горизонтальным разъемом матриц в принципе не отличается от описанной выше. У этих машин усилием 4000, 6300 и 8000 кН, выпускаемых отечественной промышленностью, легче механизировать передачу заготовок из ручья в ручей. Конструкция машин обеспечивает увеличенный рабочий ход при использовании подвижной (верхней) полуматрицы для штамповки. Штамп и переходы при штамповке втулок с фасонным профилем отверстия приведены на рис. 291.

Слева на рис. 291, а дан вид блоков матриц (вверху — вид спереди, внизу — вид сверху). Справа на этой же позиции дан вид пуансонодержателя (вверху — вид сбоку, внизу — вид сверху).

4. Обрезные операции

Рабочий инструмент и схема процесса обрезки. Схемы обрезки заусенца и удаления перемычек приведены на рис. 292. Применяемые в обоих случаях штампы состоят из пуансона 1 и матрицы 2, причем каждый штамп обычно имеет только по одной ре-

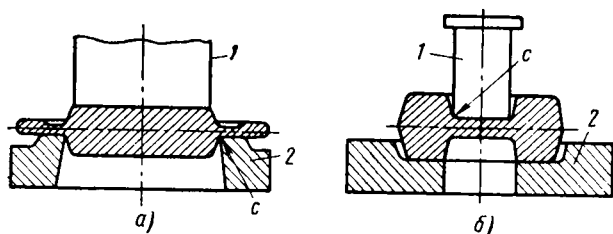


Рис. 292. Схемы обрезки заусенца (а) и удаления перемычек (б) с поковки

жущей кромке с. Инструмент для удаления заусенца имеет режущую кромку на матрице, а для удаления перемычек — на пуансоне. Место среза на поковке прилегает непосредственно к режущим кромкам соответствующей части инструмента. Части штампов, не имеющие режущих кромок, выполняют роль толкающих или опорных деталей и получают форму в соответствии с конфигурацией поковки по месту соприкосновения.

На практике используют горячую и холодную обрезку. Горячая обрезка осуществляется непосредственно после штамповки на прессе, входящем в состав штамповочного агрегата. Это приводит к экономии энергии, расходуемой на обрезку. Хотя усилия при горячей обрезке в 5—6 раз меньше усилий при холодной обрезке, все же этот способ имеет недостатки, связанные с менее рациональным использованием площади основного цеха, тогда как при холодной обрезке обрезные прессы можно сгруппировать во вспомогательном помещении.

Значение обрезки в технологическом процессе неодинаково при штамповке на молотах и прессах. Штамповка за несколько ударов в каждом из ручьев на молоте требует в 2—3 раза больше времени, чем обрезка заусенца за один ход на кривошипном обрезном прессе, поэтому последний обычно используют непроизводительно (на 40—50%). При штамповке в многоручьевых штампах на прессах более быстроходных, чем обрезные, осложнения могут возникнуть с обрезными прессами, поскольку время, необходимое на обрезку заусенца и удаление перемычки, в отдельных случаях больше времени, необходимого для штамповки. Горячая обрезка необходима при штамповке поковки из легированных и высокоуглеродистых сталей. Поковки с большой площадью среза целесообразно обрезать в горячем состоянии, чтобы не устанавливать обрезные прессы очень большой мощности. Тонкие поковки, небольших размеров подвержены короблению при горячей обрезке и поэтому подлежат холодной обрезке, которая в таких случаях не требует больших усилий и обычно не сопровождается последующей правкой поковки.

Производительность при холодной обрезке поковки на обособленных прессах значительно выше, чем при горячей; прессы ис-

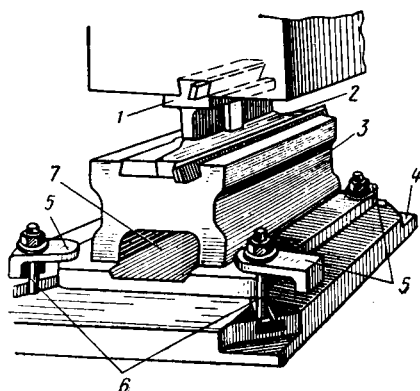


Рис. 293. Конструкция и крепление простейшего обрезного штампа

пользуют более рационально, в связи с чем общее число обрезных прессов в цехе уменьшается. При холодной обрезке коробление поковок незначительно, подгонка обрезного инструмента проще, чем при горячей обрезке. Для уменьшения усилия холодную обрезку можно производить после первичной термической обработки поковок (отжига). Однако термическая обработка поковок, не подвергнутых обрезке, обходится дороже из-за снижения производительности термических печей.

Конструкция простейшего обрезного штампа (рис. 293) следующая. Пуансон 1, закрепленный клином в ползуне прессы, и матрица 2, закрепленная клином в блоке 3, составляют обрезной инструмент. Блок к столу 4 прессы крепят с помощью накладок (прихватов) 5 и болтов 6, головки которых проходят в пазах стола 4 прессы. Пазы имеют Т-образную форму и в данном случае пересекают стол прессы по диагонали. В некоторых конструкциях прессов эти пазы пересекаются под прямым углом и параллельны сторонам стола. Блок 3 имеет выгребное 7 и провальное окна, последнее совпадает с рабочим отверстием в матрице 2. Для обрезки поковку устанавливают так, чтобы она опиралась на матрицу заусенцем, который после обрезки остается на кромке матрицы, а поковка проваливалась и вынималась через окно 7.

Если стол прессы имеет отверстие, то применяют низкие блоки с провальным окном. Обрезанные поковки проваливаются под стол прессы на транспортер или в ящик.

М а т р и ц ы. Обрезные матрицы бывают цельными или составными, что определяется в основном условиями их изготовления, восстановления и термической обработки (рис. 294). Составные матрицы применяют для обрезки крупных поковок независимо от их формы (рис. 294, а) и поковок сложной конфигурации в плоскости обрезки независимо от их размера (рис. 294, б). Цельные матрицы (рис. 294, в) применяют преимущественно для поковок типа тел вращения мелких и средних размеров.

При изготовлении составных матриц ковка и фрезерование их частей значительно упрощаются. Рабочую часть сплошных матриц с круглым отверстием подвергают токарной обработке. На рис. 295 представлены формы режущих кромок k матриц. Режущую кромку под углом $90^\circ - (30' \div 1^\circ)$ применяют у составных матриц (рис. 295, а). Цельные матрицы (рис. 295, б) имеют режущую

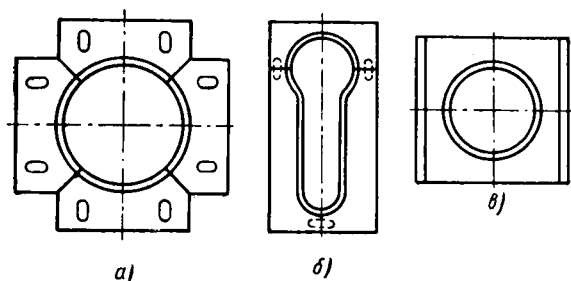


Рис. 294. Типы обрезных матриц

кромку под прямым углом, но провальное отверстие и в этом случае имеет уклон, исключающий застревание поковки в матрице после обрезки заусенца. Режущая кромка матриц расположена выше остальной их части, что обеспечивает плотное прилегание к матрице заусенца, даже если он был искривлен при передаче поковки от места штамповки к месту обрезки. При таком расположении режущей кромки ее шлифование значительно упрощается.

Износ матриц заключается в затуплении их режущих кромок. Для увеличения срока службы режущие кромки матриц восстанавливают обработкой резанием, наплавкой слоя металла с последующим восстановлением формы режущей кромки обработкой резанием или абразивной обработкой. По первому способу для восстановления составной матрицы (рис. 295, а) при затуплении режущей кромки k можно снять слой металла толщиной a вдоль всей конической поверхности провального отверстия матрицы. Для того чтобы размеры отверстия матрицы не изменялись, необходимо также снять слой металла толщиной a с каждой части матрицы в месте их стыка. При использовании сплошной матрицы (рис. 295, б) в случае затупления режущей кромки k восстановление заключается в шлифовании слоя металла толщиной a с торцевой поверхности матрицы. Для того чтобы диаметр проваль-

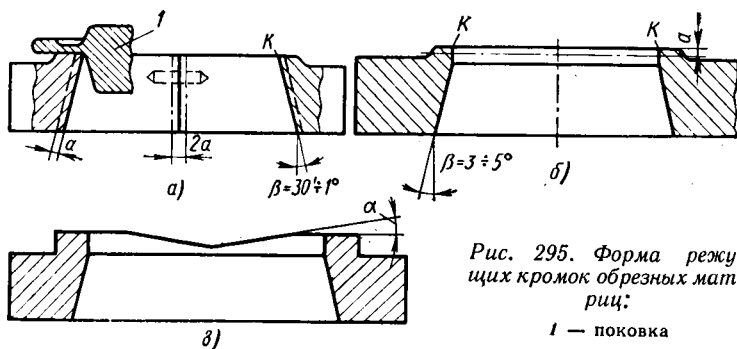


Рис. 295. Форма режущих кромок обрезных матриц:

1 — поковка

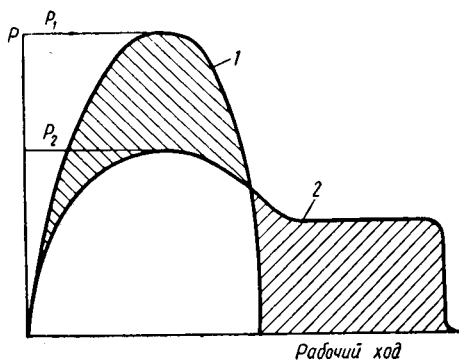


Рис. 296. График «усилие—рабочий ход» при обрезке заусенцев в матрице:

1 — в прямой и 2 — со скошенной режущей кромки

ного отверстия не увеличивался, некоторая часть грани этого отверстия имеет вертикальные стенки (5—10 мм), переходящие затем в наклонные. Восстановить составные матрицы можно шлифованием их с торца, если это не приведет к значительному увеличению диаметра отверстия матрицы. Этим объясняется то, что уклон провального окна у них выполняется под меньшим углом (30'—1° вместо 3—5°). Описанным способом восстанавливают матрицы после термической обработки.

Обрезной инструмент ремонтируют наплавкой металла или твердого сплава при капитальном ремонте. Долговечность инструмента при наплавке твердыми сплавами во много раз возрастает, но обработать наплавленные кромки труднее. Эту задачу успешно решают с помощью электроискровой, алмазной и других видов обработки. Применяют также электронаплавку рабочих кромок легированной стали. Стойкость таких штампов ниже твердосплавных, но обработка их легче. Более простой способ ремонта заключается в перековке обрезного инструмента и последующем образовании режущей кромки (как при изготовлении новых матриц).

Для уменьшения усилия обрезки и обеспечения более плавной нагрузки пресса применяют матрицы со скошенными режущими кромками (рис. 295, в). Во избежание появления горизонтальных сил число скосов может соответствовать любому четному числу. Уклон режущих кромок выполняют под углом $\alpha = 3 \div 6^\circ$. При обычной обрезке заусенца график «усилие — рабочий ход» показан на рис. 296 (кривая 1). При наличии скосов у режущей кромки график (кривая 2) характеризуется понижением максимального усилия обрезки, т. е. $P_2 < P_1$, при этом рабочий ход увеличивается. Работа на обрезку в обоих случаях примерно одинакова. При укладке поковки на матрицу с волнистой режущей кромкой заусенец прилегает к матрице только в тех местах, в которых возвышается режущая кромка, все это обеспечивает устойчивое положение поковки в процессе ее обрезки.

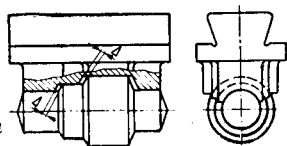


Рис. 297. Форма пуансона обрезного штампа для поковки ступенчатого валика

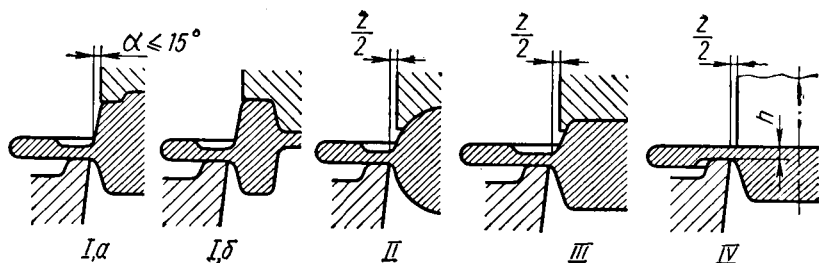


Рис. 298. Обрезные пуансоны различной формы

Форма матриц для удаления перемычек с поковок показана на рис. 292, б. Эти матрицы не имеют режущих кромок и являются опорными — центрирующими деталями штампа. Поэтому обычно матрицы имеют полость, соответствующую форме поковки, и отверстие для прохода перемычек, отделенных от поковок.

Пуансоны. В штампах для обрезки заусенца пуансоны играют роль толкателя, передающего усилие на поковку, находящуюся на матрице. Обрезной пуансон должен прилегать к поковке во избежание сосредоточения нагрузки и местного смятия поковки. Так как износ основного и обрезного штампов неодинаковый, размеры поковок имеют допуски и температура обрезки поковок колеблется в некоторых пределах, необходимо принимать меры для плотного прилегания пуансона к поковке. Размеры пуансона в местах его соприкосновения с цилиндрическими частями поковки выбирают по ее номинальным размерам. Так как отклонения размеров поковки наибольшие в переходных сечениях (вследствие износа по радиусам закруглений выступов основного штампа), то в этих местах на обрезном пуансоне следует предусмотреть зазоры Δ , которые должны быть немного большими, чем допуск на соответствующие размеры поковок (рис. 297).

Различные формы пуансонов приведены на рис. 298. В случаях I, а; I, б; II и III пуансон не погружается в отверстие матрицы и требования к зазорам ($\frac{z}{2}$) между матрицей и пуансоном определяются условиями плотного прилегания пуансона к поковкам. Если штамповочный уклон поковки не превышает 15° , пуансон может иметь плоский торец с выемкой (рис. 298, I, а) или с выступом (рис. 298, I, б) в середине торца. В случае большего уклона и при круглых сечениях поковки, чтобы избежать ее деформации, пуансон должен охватывать и боковую поверхность поковки (II и III). Если заусенец расположен у торца поковки, то обрезной инструмент для обеспечения качественной обрезки должен быть с двумя режущими кромками (на пуансоне и матрице — тип IV). В этом случае пуансон входит в отверстие матрицы и зазор $\frac{z}{2}$ должен быть равен 15% от толщины заусенца h .

Центральное расположение пуансона в процессе такой обрезки обеспечивают штампы с направляющими колонками.

Просечные пуансоны выполняют с режущими кромками и размерами, соответствующими номинальным размерам отверстия поковки. Торец пуансона имеет обычно плоскую форму; исключение составляют пуансоны для удаления перемычек с утолщениями из-за наличия в штампах компенсаторов (см. рис. 165). При большом диаметре перемычек в середине торца пуансона целесообразно иметь выемку, которая упрощает восстановление режущих кромок за счет снятия слоя металла со стороны их торца. Для уменьшения усилия, необходимого для удаления перемычки, пуансоны могут иметь скосы, так же как матрицы при обрезке заусенца.

Дефекты при обрезке заусенца и перемычек. При обрезке заусенца соседние участки металла не должны подвергаться даже незначительным остаточным деформациям, так как поковка может искривиться (и нуждаться в добавочной операции — правке) или подвергнуться смятию, приводящему к браку.

Большое количество дефектов поковок связано с неодинаковым износом основного и обрезного штампов, что приводит к наладке пресса для обрезки для каждой партии штампуемых поковок. Неодинаковая усадка поковок и недостаточная точность размеров инструмента еще более это усугубляет. При чрезмерном увеличении размера по месту разъема штампа поковка не входит в провальное окно матрицы и при проталкивании часть штамповочных уклонов срезается вместе с заусенцем (в некоторых случаях этот метод используют для удаления напусков). При увеличенном зазоре между матрицей и поковкой по контуру поковки остается часть заусенца, втянутого в зазор.

Остатки заусенца и перемычек по периметрам обрезки должны быть небольшими. Их величина может быть определена по табл. 40.

Таблица 40

Допустимые размеры остатков заусенцев и перемычек (в мм на сторону) после их удаления с поковок различной степени сложности

Масса поковки, кг	Степень сложности поковки	
	C1, C2	C3, C4
Свыше 0,25 до 1,6	0,3—0,5	0,4—0,6
» 1,6 » 4,0	0,6—0,8	0,8—1,0
» 4,0 » 10,0	1,0—1,2	1,2—1,5
» 10,0 » 25,0	1,5—1,7	1,7—1,8
» 25,0 » 63,0	1,8—2,0	2,0—2,2
» 63,0 » 100,0	2,2	2,5

Примечание. Определение степени сложности поковок см. стр. 438.

При обрезке поковка может подвергнуться смятию, если ее площадь соприкосновения с пуансоном окажется недостаточной и напряжения на контактной поверхности превысят сопротивление деформации прежде, чем напряжения у заусенца достигнут сопротивления срезу.

Необходимая площадь контакта пуансона с поковкой F_{Π} должна удовлетворять следующему соотношению:

$$F_{\Pi} > \frac{\sigma_{\text{ср}} \Pi h}{\sigma_{\text{см}}},$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ — сопротивление срезу материала поковки при температуре обрезки; $\sigma_{\text{см}}$ — сопротивление смятию поковки при температуре обрезки; Π — периметр обрезаемого отверстия матрицы; h — толщина заусенца.

Если поковка имеет форму, неудобную для фиксации в матрице, то при ее укладке обычно ось поковки смещается относительно оси ручья; при большом смещении одна сторона поковки срезается, а на другой стороне остается часть заусенца. Этого часто удается избежать, если в обрезающем штампе принято взаимно обратное расположение пуансона и матрицы; при этом перед обрезкой поковку помещают на неподвижный пуансон, который находится внизу. При таком расположении деталей штампа необходимо предусмотреть верхний выталкиватель для поволоки, застревающих после обрезки внутри матрицы.

При обрезке поволоки, имеющих двутавровое полотно (например, стержень шатуна и др.), трудно добиться одновременного прилегания пуансона к полкам и к перемычке таврового сечения. Это явление усугубляется отклонениями размеров поволоки после штамповки, например, их недоштамповкой. При обрезке таких поволоки часто искривляются полки. Для уменьшения влияния отклонения размеров поволоки пуансон следует изготовлять по номинальным размерам ручья, используя для подгонки рабочей поверхности пуансона контрольную отливку чистового ручья штампа.

Приведенные случаи дефектов относятся к наиболее простым, так как были рассмотрены поковки, штампованные в штампах с прямой линией разреза. Много осложнений возникает при обрезке с ломаными и кривыми линиями разреза штампа. Необходимо, чтобы профиль заусенца в плоскости линий разреза штампа не имел углов, близких к прямому; чем больше этот угол, тем легче обрезать заусенец. Кроме того, заусенец легче обрезать, если он не проходит по торцу поволоки.

Рассмотрим упрощенную обрезку (рис. 299, а) поволоки Г-образного сечения. При штамповке в штампе с линией разреза $I—I$ качественной обрезки не получается; поковки идут в брак по неровному срезу и смятию углов. При увеличении угла α между участками разреза (линия разреза $II—II$) и одновременном пере-

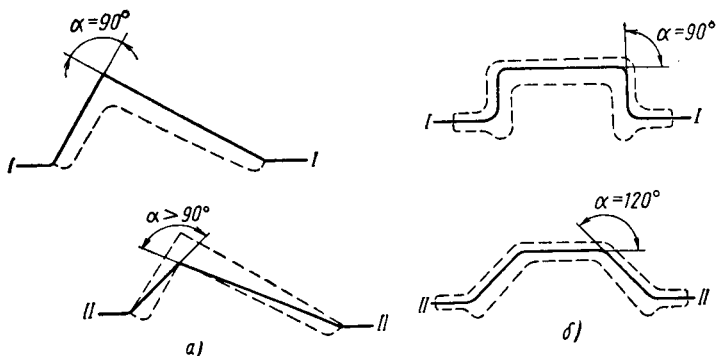


Рис. 299. Изменение линии разреза основного штампа для нормальной обрезки заусенца

несении заусенца с ребра на грань поковки обрезка получается качественной.

В другом случае при штамповке с одновременной гибкой и формовкой поковка П-образного сечения имеет заусенец, расположенный под прямым углом к линии разреза $I-I$ штампа (рис. 299, б). Обрезка заусенца в этом случае затруднена, а при недостаточно массивной поковке в процессе обрезки искажается ее форма. В подобных случаях целесообразнее, чтобы участки линии разреза $II-II$ были расположены не под прямым углом, а под углом $110-120^\circ$. Окончательная гибка при этом может быть осуществлена на обрезном прессе (в специальном штампе) после обрезки заусенца.

Упомянутые искривления поковок при горячей обрезке во многих случаях происходят по той причине, что сопротивление смятию или изгибу поковки, имеющей высокую температуру ($700-750^\circ\text{C}$), меньше, чем сопротивление срезу заусенца, имеющего более низкую температуру (ниже 600°C). Если в этих условиях пуансон недостаточно плотно прилегает к поковке, то в начале обрезки происходит ее смятие или искривление.

Дефекты, появляющиеся при обрезке, во многих случаях можно устранить правкой (для устранения изгиба) или обточкой на наждачном станке (для удаления остатков заусенца), но это сопряжено с дополнительными затратами средств и времени. Смятие вызывает окончательный брак поковок.

Во избежание появления дефектов необходима тщательная подгонка рабочего инструмента перед штамповкой каждой партии поковок.

При обрезке перемычек могут также появиться дефекты; из них наиболее часто встречающиеся — искривление и несоосность среза перемычек.

Обрезные штампы. Схема обрезного штампа была приведена на рис. 293. В зависимости от размера закрытой высоты штампо-

вого пространства обрезающего пресса и от теплового режима обрезки применяют высокие или низкие блоки штампов; для горячей обрезки — преимущественно высокие блоки с выгребным окном. В таком штампе поковка не получает забоин при выпадении из провального окна. Конструкции обрезающих штампов различают по крепежным деталям рабочего инструмента, а также по наличию или отсутствию съемников, направляющих колонок и некоторых других деталей.

Крепление пуансонов. Пуансоны обрезающих штампов крепят непосредственно к ползуну пресса или через переходные плиты. Существует много разновидностей крепления пуансонов, из них наиболее широко применяют следующие конструкции. На рис. 300, а показано крепление, осуществляемое, как и у молотовых штампов, хвостовиком 1 и клином 2 и применяемое для холодной и горячей обрезки поковок удлиненной формы. Конструкция этого крепления проста и надежна. Для поковок, штампуемых в торец, применяют крепление пуансона к переходной плите (рис. 300, б) с помощью кольцевого пуансонодержателя 3 болтами 4. Конструкция пуансона при использовании такого крепления проста и удобна при монтаже и демонтаже. Подобное крепление используют чаще всего для пробивных пуансонов.

Конструкция крепления пуансонов с хвостовиками стопорными винтами 7 (рис. 300, в), проходящими через съемную нажимную колодку 6, закрепляемую, в свою очередь, сквозными болтами 5, проста в изготовлении и надежна в эксплуатации. В этом случае пуансон удерживается в гнезде силами трения от нажимной колодки и стопорным винтом.

Для снижения стоимости трудных в изготовлении пуансонов при обрезке поковок сложной конфигурации (например, поковок шатуна) применяют пуансоны, форма которых соответствует форме поковки, без специальной

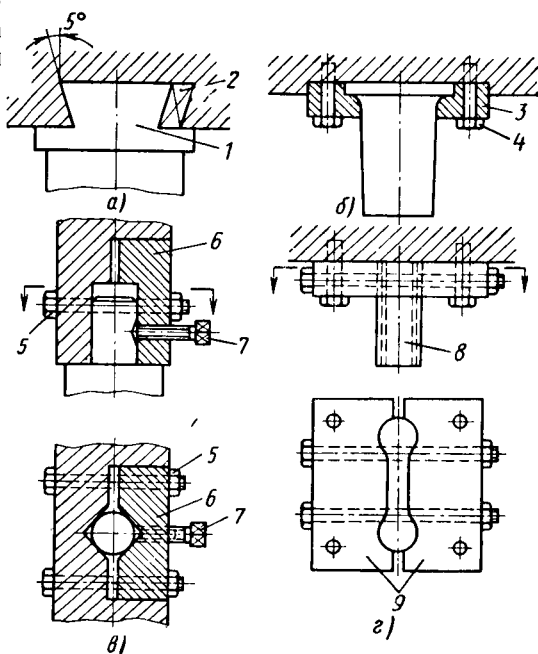


Рис. 300. Различные способы крепления обрезающих пуансонов

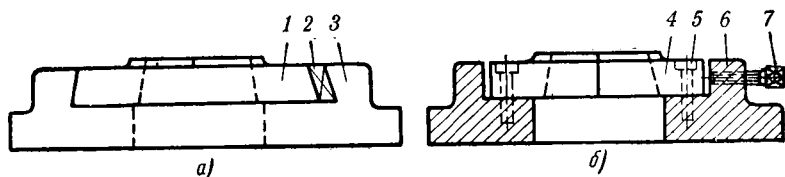


Рис. 301. Крепление обрезаемых матриц

крепежной части (рис. 300, г). Для крепления пуансона 8 служат зажимные колодки 9, которые одновременно используют для крепления всей системы к переходной плите пресса. Такая конструкция пуансона удобна, так как позволяет использовать его двукратно (с двух сторон).

Крепежные гнезда ползунов рассчитаны на максимально возможные габаритные размеры пуансонов для данного пресса, поэтому в отдельных случаях для уменьшения размеров крепежных частей пуансонов применяют переходные детали из недорогого сталя между ползуном и пуансоном.

Крепление матриц. В большинстве конструкций обрезаемых штампов применяют два основных способа крепления матриц. Для цельных или состоящих из двух частей матриц 1 применяют крепление клином 2 в башмаке 3 (рис. 301, а). При этом положение матрицы регулируют с помощью прокладок.

Другую разновидность крепления (винтами, рис. 301, б) применяют для матриц, состоящих из двух и более частей. Матрицу 4 крепят к блоку 6 винтами 5. Стопорные болты 7 фиксируют положение матриц при наладке инструмента.

Матрицу с двумя или несколькими разрезами во взаимно перпендикулярных плоскостях регулируют стопорными болтами, расположенными в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для возможности регулирования отверстия в матрицах имеют овальную форму (см. рис. 294).

Крепление матриц штампов для удаления перемычек аналогично описанному выше. Кроме рассмотренных креплений матриц применяют и другие (рис. 302, д).

Съемники. Когда при обрезке заусенца пуансон погружается в матрицу, заусенец остается на пуансоне. Во всех случаях при удалении перемычек поковки остаются на пуансоне. С пуансонов снимают заусенец и поковки специальными съемниками, которые подразделяют на верхние и нижние, жесткие и подвижные.

Простейший нижний съемник жесткой конструкции выполнен в виде съемных Г-образных лап 1, закрепленных на башмаке штампа (рис. 302, а).

Лапы работают на изгиб в тот момент, когда застрявший заусенец снимается с пуансона. Более совершенной является конструкция нижнего жесткого съемника на распорных трубках (рис. 302, б). Длинные болты 2 проходят через трубки 4, на которых закреплена

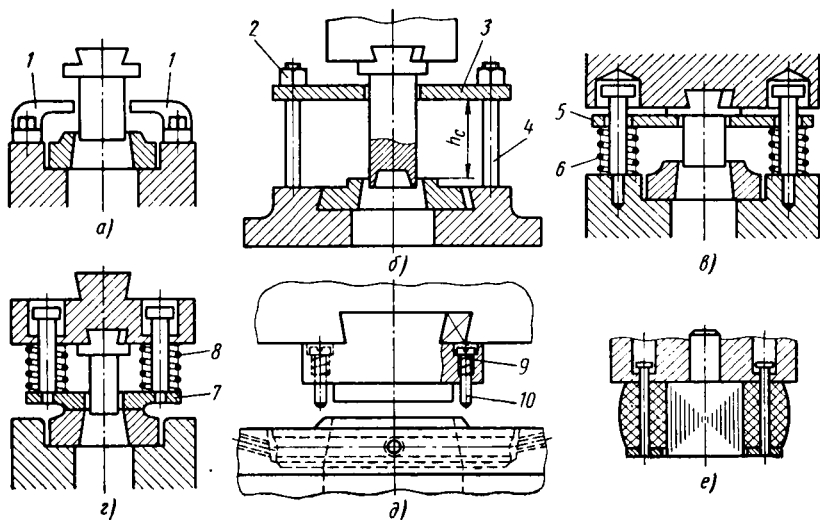


Рис. 302. Конструкция съемников обрезных штампов

плита (съемник 3) с отверстием для прохода пуансона. При необходимости это отверстие может быть использовано в качестве направляющего для пуансона. Съемник может быть использован для поковок большой и небольшой высоты за счет изменения расстояния между съемником и матрицей. Для поковок большой высоты, но при малой закрытой высоте пресса, применяют нижний жесткий съемник на пружинах (рис. 302, в). В какой-то момент рабочего хода ползун пресса встречает на своем пути съемник и опускает его в процессе обрезки заусенца, при этом пружины сжимаются.

На обратном пути ползуна, прежде чем заусенец упрется в пластину 5 съемника, эта пластина вернется в исходное положение под действием пружин 6, после чего съемник начинает работать как обычный — жесткий.

Если нижний съемник мешает установке поковок, то можно использовать верхний съемник (рис. 302, г). Заусенец снимается при обратном ходе ползуна. Съемная плита 7 передвигается к торцу пуансона пружинами 8, снимая при этом застрявший на нем заусенец.

Верхний пружинный съемник можно выполнить в виде компактных стержней 10, действующих от пружин 9 (рис. 302, д). Три или четыре стержня свободно сталкивают заусенец, при этом конструкция штампа не усложняется, а штамповое пространство пресса не загромождается. При холодной обрезке заусенцев вместо пружин верхнего съемника можно использовать толстые резиновые подкладки (рис. 302, е).

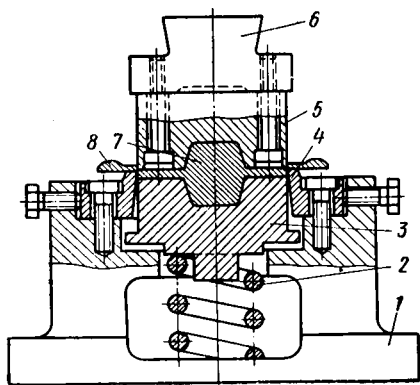
Если заусенец сложного контура застревает на пуансоне, то для облегчения удаления его разрезают ножами, закрепленными на пуансоне. Для предотвращения затупления ножей при их соприкосновении с матрицей и для упрощения наладки режущую кромку ножей приподнимают относительно режущей кромки пуансона на величину, равную величине погружения пуансона в матрицу плюс толщина заусенца. Следовательно, каждый второй заусенец продвигается к ножу и рассекается им на части.

На одном из заводов при штамповке коленчатых валов ножами такой конструкции заусенец рассекался в восьми местах и удалялся по частям.

Типы обрезающих штампов. Различают простые, последовательные и комбинированные обрезающие штампы. Бывают также штампы с высокими (для горячей обрезки) и низкими блоками (для холодной обрезки), с колонками и съемниками и без них.

Простые обрезающие штампы предназначены только для удаления заусенцев или перемычек и были рассмотрены при описании обрезающего рабочего инструмента (см. рис. 293 и 302). Ниже рассмотрены некоторые специальные конструкции штампов.

Обычная конструкция штампа для горячей обрезки имеет недостаток, связанный с тем, что при падении поковки после обрезки тонкие ребра или выступы искажаются, что вызывает дополнительную операцию — правку. В некоторых случаях при наличии очень тонких частей, примыкающих к заусенцу, поковка изгибается в процессе обрезки. На рис. 303 показан штамп для обрезки таких поковок. В блоке 1 установлена пружина 2, которая действует на выталкиватель 3 с полостью, соответствующей форме поковки. Выталкиватель 3 смещается относительно матрицы 4 при сжатии пружины 2. Рабочая часть 5 пуансона закреплена болтами к крепежной его части 6. После обрезки поковки 7 с очень тонким полотном заусенец 8 остается на пуансоне, в связи с чем штамп должен быть снабжен съемником (на рис. 303 не показан).



Поковка, опущенная внутрь матрицы, поднимается до ее верхнего уровня выталкивателем 3 при обратном ходе пресса. Для обеспечения необходимых зазоров между пуансонами и матрицами обрезающих штампов должно быть точное направление движущихся частей штампов. Наиболее совершенными

Рис. 303. Обрезающий штамп с выталкивателем

Рис. 304. Комбинированный штамп для обрезки заусенцев и удаления перемычек (выталкиватель действует от закрепленных на ползуне тяг)

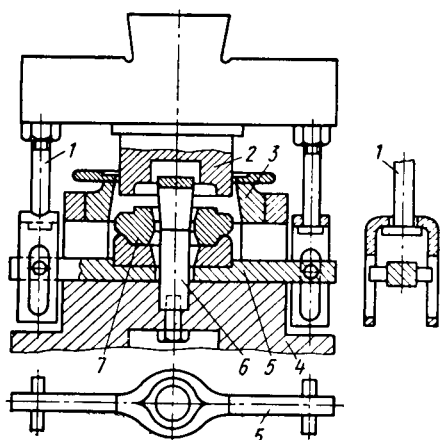
в этом отношении являются штампы с колонками, аналогичные штампам, применяемым для штамповки на прессах.

Последовательные штампы. Если, кроме удаления заусенца, необходимо произвести еще какие-либо операции над поковкой (удаление перемычек, правку, гибку), то они могут быть выполнены последовательно на штампах, установленных рядом, или в общем штампе на одном и том же прессе. Обычно более двух операций на одном обрезающем прессе не совершают. Общий штамп, в котором поочередно выполняют две операции, называют последовательным штампом. Для удобства изготовления и наладки штампов рабочие вставки для каждой операции крепят и регулируют отдельно (поочередно). Указанные операции могут быть осуществлены одновременно для двух поковок, размещенных в двух рабочих вставках. Для одновременного совершения двух операций потребуется пресс, развивающий соответствующее суммарное усилие. При этом за каждый ход пресса получают готовую поковку, обработанную за две операции.

Комбинированные штампы. Сущность комбинированного штампа заключается в одновременном совершении нескольких (обычно двух) операций — обрезки заусенца и перемычки в общем ручье. Для перекладки поковки большой массы из одного обрезающего ручья в другой требуется значительная затрата физического труда, устраняемая применением комбинированных штампов. Для ускорения обработки поковки следует также использовать комбинированные штампы.

На рис. 304 показан комбинированный штамп для одновременной обрезки заусенца и перемычки. В блоке 4 штампа, кроме матрицы 3, установлен пуансон 6 с режущей кромкой для удаления перемычки.

Внутри обрезающего пуансона 2 выполнена полость, в которую свободно входит удаляемая перемычка. Поковка устанавливается на матрице 3 или опирается на пуансон 6. После обрезки заусенца поковка проваливается и попадает на седло 7, находящееся на коромысле 5, свободно охватывающем пуансон 6 (показано внизу рисунка). Концы коромысла 5 сопряжены с тягами 1, позволяющими ползуну пресса опускаться при неподвижном положении



коромысла. При обратном ходе пресса тяги 1 с коромыслом 5 выталкивают поковку за верхний обрез матрицы. Для прохода коромысла в блоке штампа имеется сквозной паз.

Описанная конструкция комбинированного обрезного штампа неудобна из-за наличия громоздких тяг, уменьшающих доступ в штамповое пространство при верхнем положении ползуна пресса. Ниже приведена конструкция комбинированного обрезного штампа, в котором указанный недостаток исключен (рис. 305).

В нижней плите 16 штампа закреплен пуансон 15 и пружинный нижний съемник 13 заусенца Б. В верхней плите 11 штампа размещены обрезающая матрица 5, прошивник 8 и толкающий съемник 10, закрепленный в траверсе 9. К основным деталям механизма выталкивателя поковки относятся шарнирные тяги 4 (левая и правая), закрепленные в петлях 1 и удерживаемые вертикально пружинами 2, которые упираются в планки 3. Тяги 4 одним концом упираются в рычаги 6 со скосами; эти рычаги закреплены в верхней плите штампа винтами 7.

В данном случае показано нижнее положение штампа, когда от поковки *A* уже отделены заусенец *Б* и перемычка *В*. Поковку устанавливают на съёмник 13 (при верхнем положении ползуна прессы), удерживаемый в поднятом положении пружинами 14 и лапами 12. При опускании плиты 11 обрезается заусенец *Б* между режущими кромками матрицы 5 и пуансона 15 и удаляется перемычка *В* между режущими кромками полого пуансона 15 и прошивника 8. При этом рычаги 6 отодвигают нижними скосами тяги 4 и проскакивают в прорези этих тяг, которые возвращаютсяпру-

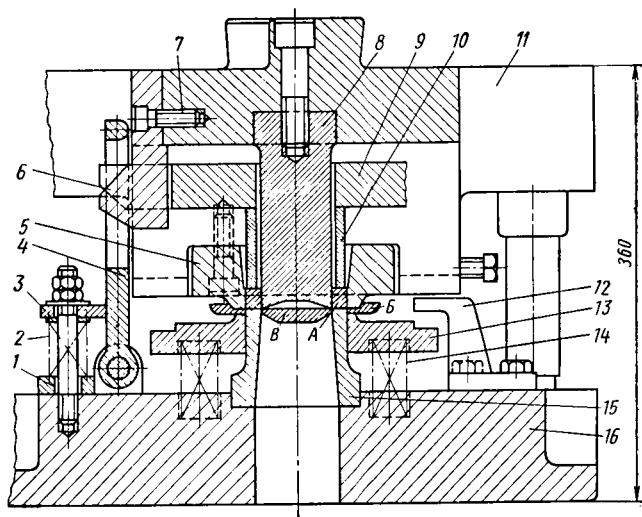


Рис. 305. Комбинированный штамп для обрезки заусенца и удаления перемычек (применяется выталкиватель, действующий от разъединяемых тяг)

жинами 2 в исходное положение. При подъеме плиты 11 съемник 13 извлекает заусенец, а траверса 9, упирающаяся в выступ рычагов 6, снимает поковку А с прошивника 8 с помощью выталкивателя. Через некоторое время рычаги 6 верхними скосами упираются в выступы тяг 4 и, отклоняя их в стороны, перемещаются вверх. Основное преимущество этого штампа состоит в независимости его работы от величины хода ползуна и в простоте регулирования при свободном доступе к деталям.

Обрезные операции часто совмещают в конце хода с правкой поковок. Во избежание перегрузки обрезных прессов при обжатии поковок переменной (в пределах допусков) высоты матрицу для правки устанавливают на мощных тарельчатых пружинах.

5. Содержание технологической разработки

Особенность разработки технологического процесса штамповки поковок состоит в том, что одновременно определяется конструкция соответствующей оснастки.

Задачи технологической разработки исходя из формы и размеров детали по чертежу состоят в определении: возможных вариантов технологии и выборе наиболее эффективного из них; объема, формы и размеров заготовки; объема, формы и размеров поковки; способа и производительности при нагреве заготовки; способа штамповки поковок; числа и формы переходов; типа, конструкции и размеров инструмента; типа отделочных операций; экономической эффективности принятого технологического решения.

Последовательность разработки технологического процесса и конструирования инструмента следующая. По укрупненным технико-экономическим данным устанавливают наиболее целесообразный способ штамповки и выбирают тип штампа (например, по величине критической серийности и с учетом типа предполагаемого к использованию оборудования). Затем разрабатывают чертеж поковки и подбирают исходную заготовку; определяют термомеханический режим деформации металла.

В соответствии с принятым способом штамповки и типом штампа рассчитывают переходы, определяют усилия (иногда и работу) на деформацию, подбирают типоразмер машины-орудия и средства механизации и автоматизации. Затем разрабатывают рабочие чертежи штампов и приспособлений. В заключение определяют нормы времени и производительность работы, после чего рассчитывают технико-экономические показатели принятого варианта и сопоставляют их с соответствующими показателями, характерными для данной отрасли промышленности. Оканчивается разработка технологии установлением мероприятий по охране и санитарно-гигиеническим условиям труда, а также в области охраны природы.

Отдельные вопросы технологической разработки были рассмотрены выше в соответствующих параграфах и главах, исключение составляют вопросы нормирования, механизации, автоматизации и организации производства, являющиеся предметом рассмотрения других дисциплин.

В данном разделе приведены дополнительные материалы, необходимые при разработке технологического процесса.

Некоторые трудности связаны с установлением оптимального варианта процесса. Учитывая тип производства, форму и габаритные размеры поковок, состав стали, требуемую точность поковок и другие их характеристики, выбирают один из вариантов процесса (рис. 306, а также см. стр. 314).

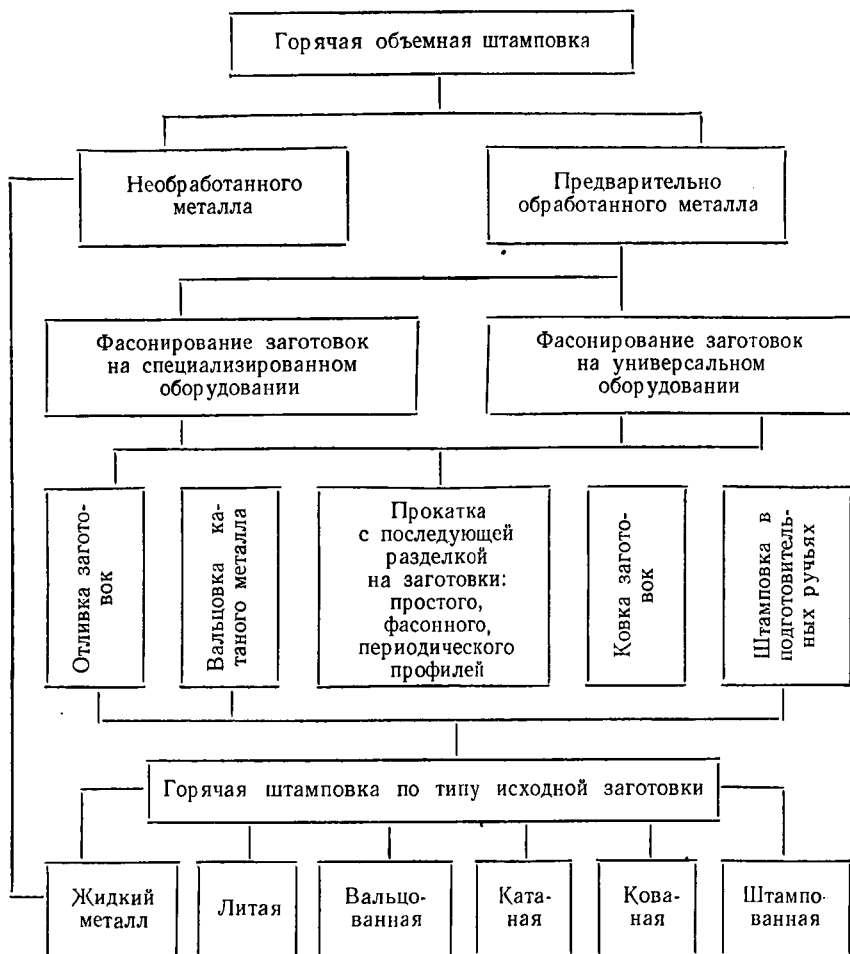


Рис. 306. Классификация процессов горячей (объемной) штамповки

Для установления типа штампа (открытый, закрытый, для выдавливания, с цельной или разъемной матрицей и т. д.) необходимо учитывать особенности конфигурации поковки. Для этого следует использовать классификацию поковок. Известно большое число классификаций и разработаны они с учетом различных признаков, главными из которых являются конфигурация, объем и химический состав стали для поковок.

При выборе переходов штамповки используют данные, приведенные в настоящей книге, в зависимости от выбранного типа штампа и оборудования. Формообразование анализируют на основании эпюр диаметров и сечений. Например, для поковок с развилками в эпюре сечений обе площади на участке развилки объединяют в общую с учетом дополнительного внутреннего заусенца. При очень большом расстоянии между развилками применяют рассекатели. Для несимметричных поковок необходимо применение формовочного ручья. Для поковок с изогнутой осью приходится решать вопрос о том, что будет подвергнуто гибке: заготовка или поковка. Решение этого и других подобных вопросов позволяет установить форму поковки, а следовательно, и форму полости окончательного ручья штампа. О форме поковки можно судить по ее чертежу.

Составление чертежей стальных штампованных поковок осуществляют в соответствии с ГОСТ 7505—74. Стандарт предусматривает категории поковок в зависимости от назначения и условий работы детали с разделением на два класса точности: I класс — поковки повышенной точности и II класс — поковки нормальной точности. Поковки более высокой точности, достигаемой калибровкой, выделены в специальный класс.

Для определения классов точности, величин припусков, допусков и напусков в стандарт введены следующие параметры: группа стали поковок (M1 — углеродистая и легированная стали, содержащие до 0,45% С при содержании до 2% легирующих элементов; M2 — более легированная сталь); степень сложности поковок (от первой С1 до четвертой С4, см. стр. 438); конфигурация поверхности разъема штампа (плоская П и изогнутая И).

Класс точности поковок устанавливают с учетом требований к точности их размеров, условий и характера производства (серийное или массовое), причем разные размеры одной и той же поковки могут быть отнесены к различным классам точности.

Наибольшие припуски на механическую обработку, назначаемые на сторону по номинальным размерам детали, регламентируются массой поковок (до 400 кг), степенью сложности их изготовления, группой стали и классом шероховатости поверхности по ГОСТ 2789—73. Стандарт допускает индивидуальное назначение припусков на сварные поковки, обрабатываемые в собранном виде и т. п.

Массу поковок определяют по чистовым размерам детали с учетом припусков, напусков и 0,5 положительного (верхнего) от-

клонения для наружных размеров и 0,5 отрицательного (нижнего) отклонения для размеров полости и отверстий. При пламенном нагреве металла припуски увеличивают (для поковок массой от 2,5 до 6 кг на 0,5—0,8 мм и для более массивных поковок до 1 мм).

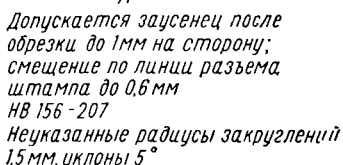
К кузнечным напускам в стандарте отнесены объемы, характеризующие штамповочными уклонами, внутренними радиусами, и перемычки отверстий поковок. Наибольшие допуски на размеры длины, ширины, высоты (толщины) поковок определяют в зависимости от массы, требуемой точности, группы стали и степени сложности изготовления поковок в открытых и закрытых штампах (с обрезаемыми и необрезаемыми заусенцами). В соответствующие таблицы допусков внесены предельные величины для остатков (после обрезки) заусенцев и смещения штампов по их разему. В стандарте приведены таблицы для торцовых заусенцев, несоосности прошиваемых в поковках отверстий, отклонений по изогнутости, неплоскостности и непрямолинейности поковок, радиусы закруглений, а также допуски на внешние и внутренние радиусы закруглений поковок, которые указывают в чертеже поковки только по требованию потребителя.

При оформлении чертежа поковки форму готовой детали вычерчивают внутри контура поковки более тонкими линиями, что необходимо для простановки припусков, указания напусков и наглядного представления об объеме металла, уходящего в стружку.

Допуски с соответствующими знаками ($\pm$) проставляют более мелкими цифрами, расположенными справа, несколько выше цифр основного размера на чертеже.

Чертеж поковки составляют по чертежу детали, на котором проставлены ее размеры, обозначены места обработки с указанием класса и параметров шероховатости, а также базовые поверхности при механической обработке. На чертеже поковки также указывают исходные базы для механической обработки. Кроме размеров с допусками на чертеже поковки дают ее название, степень сложности изготовления, класс точности, марку стали, способ нагрева, массу поковки, а также допустимую величину торцового заусенца (для поковок из закрытых штампов) или остатка после обрезки (для поковок из открытых штампов), величину необозначенных на чертеже радиусов закругления, допустимое смещение штампов, точность размеров без указания допуска, твердость металла поковки и масштаб чертежа (рис. 307).

Для штампованных поковок проставляют размеры, соответствующие холодной поковке. Этот чертеж необходим при приемке поковок, поэтому размеры проставляют с допусками. Чертеж горячей поковки не имеет допусков на размеры; его используют при конструировании фигуры штампа, поскольку профиль полости чистового ручья должен соответствовать сечению горячей поковки. Номинальные размеры на чертежах горячей и холодной поковок отличаются между собой на величину тепловой усадки



Размеры без допусков выдерживать
до $\pm 0,8$ мм
Сталь 40

Рис. 307. Типовой чертеж поковки (размеры «холодной» поковки)

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha t^\circ), \quad (92)$$

где l_1 — «горячий» размер; l_0 — «холодный» размер; α — коэффициент линейного расширения стали; t° — температура конца штамповки.

Различные условия остывания тонких и массивных частей поковок требуют отдельного определения усадки для них. Для ориентировочных расчетов температуру окончания штамповки полагают равной $900-1000^{\circ}\text{C}$, что соответствует линейной усадке стали примерно 1,2%. Для перевода холодных размеров в горячие и наоборот используют усадочные метры — обычные масштабные линейки, на которых нанесены линейные размеры с учетом тепловой усадки стали.

При разработке технологии штамповки приходится считаться с точностью дозировки мерных заготовок, которая определяет величину колебания их объема и избыток металла в них относительно номинального для данной поковки. Как видно из рис. 308 (составлен по нормативным материалам для проката нормальной точности и разделки прутков на пресс-ножницах), чем больше

$m = \frac{D_0}{H_0}$, тем больше относительное колебание объема заготовки $\frac{\Delta V}{V}$, которое также увеличивается с уменьшением диаметра заго-

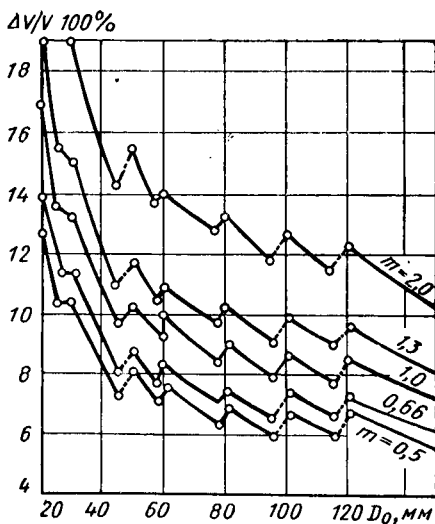


Рис. 308. Зависимость относительного объемного отклонения заготовки от их диаметров при различных соотношениях размеров m ($m = \frac{D_0}{H_0}$) (по Б. Д. Копыскому)

товки D_0 . При $m = 0,5 \div 2,0 \times \frac{\Delta V}{V} = 5,5 \div 10,3\%$ для прутка $D_0 = 150$ мм, 6,6—12,5% для прутка $D_0 = 100$ мм и 10,2—19,3% для прутка $D_0 = 30$ мм. Если при штамповке в закрытых штампах нельзя повысить точность дозировки, то применяют в них компенсаторы

(см. рис. 165). Однако идеально точная дозировка заготовок не позволяет достигнуть равенства объемов заготовки и ручья из-за износа штампов, который сопровождается увеличением объема их полостей. Достижение указанного равенства возможно при программированной дозировке объема мерных заготовок, которая обеспечивает увеличение их объема по мере износа штампа.

Если же применяют штампы с компенсатором, то допустимое колебание объема различных заготовок должно учитывать возможность заполнения полости изношенного штампа перед его демонтажом заготовкой минимального объема (т. е. заготовкой с отрицательными допусками прокатки и отрезки). Следует иметь в виду, что повышение точности дозировки объема заготовок всегда экономически оправдывается за счет уменьшения расхода металла на поковки.

Рациональные пределы колебаний объема при дозировании заготовок определяются колебанием объема полости штампа в связи с его износом. При этом предполагают, что температура металла в конце штамповки одинакова для всех поковок данной партии, а допуски на размеры полости штампа пренебрежимо малы.

Имея в виду трудности определения объема увеличения полости штампа в результате износа, иногда его заменяют величиной колебания объема поковки в пределах полей допусков на ее размеры. Эта величина больше заменяемой, так как износ штампов определяют предельным изменением какого-нибудь одного размера полости, тогда как в расчете колебания объема поковки по допускам участвуют предельные изменения всех ее размеров.

Форма поковки для данной детали зависит от положения ее оси в процессе штамповки (продольная или поперечная штамповка);

типа штампа (открытый, закрытый, для выдавливания); наличия или отсутствия компенсатора и относительного положения плоскости разреза по высоте поковки (см. рис. 155).

Для выбора сочетания и последовательности операций из общего комплекса операций, применяемых в кузнечно-штамповочном производстве, дана табл. 41.

Установление комплекса необходимых операций в известной степени субъективно и зависит от опыта технолога и используемых материалов, среди которых только стандартные являются обязательными. Поэтому встречаются различные технологические решения для одинаковых поволоков и условий их производства.

Определение усилия прессы и массы падающих частей молота. Одним из наиболее ответственных расчетов при разработке технологических процессов штамповки является расчет необходимого усилия прессы или массы падающих частей молота. От правильного выбора машины-орудия зависят расход энергии, производительность, точность получаемых изделий, износ инструмента и др.

Существующие методы определения типоразмеров оборудования могут быть разделены на три группы: эмпирические, экспериментальные и теоретические.

Эмпирические методы. Они основаны на практических результатах при ковке и штамповке в различных отраслях промышленности. Эмпирические формулы обычно не имеют физического смысла, и во многих случаях они связывают величины, не согласующиеся между собой по размерности. В качестве примера для определения массы падающих частей молота рассмотрим формулу, используемую часто на практике:

$$G = \frac{\alpha F_{\text{пок}}}{nh} \gamma, \quad (93)$$

где α — удельная работа на 1 м² площади поверхности, Дж/м²; $F_{\text{пок}}$ — поверхность поковки, м²; n — число ударов молота при штамповке в чистовом ручье; h — высота падения бабы молота, м; γ — отношение предела прочности стали, из которой штампуют поковку при температуре конца штамповки, к той же величине для стали с $\sigma_b = 490$ МН/м².

Для расчетов рекомендуется принимать $n = 3 \div 4$, $\alpha = 2,4$ МДж/м² для стали с $\sigma_b = 490$ МН/м².

При расчете массы падающих частей молота двойного действия влияние верхнего пара учитывают введением в знаменатель коэффициента, равного 1,8.

Для упрощения расчета по формуле (93) используют соотношение между поверхностью поковки и площадью ее проекции:

$$F_{\text{пок}} \approx 2,3 F_{\text{пр.}}$$

При установлении массы падающих частей молота для штамповки следует исходить из наибольшей работы деформации, затрачиваемой при последнем ударе.

Операции кузнечно-штамповочного производства

Группа операций	Наименование операции	Назначение и область применения
I. Подготовка металла и подготовительные операции	1. Правка исходных прутков	Преимущественно при последующей штамповке на горизонтально-ковочных машинах для получения ровного стержня в пределах жесткого допуска
	2. Зачистка торцов прутков	Для повышения точности отрезки заготовок и отмеривания длины при высадке прутка
	3. Калибровка прутков — протяжка на волочильном стане через фильеры	Для уменьшения припуска или получения стержня с точным диаметром без последующей обработки резанием, а также при высадке утолщения сложной формы без образования заусенца
	4. Разделка прутков	Для получения мерных и других типов заготовок; для разделки на более короткие прутки, если торговая длина не позволяет штамповать от прутка
	5. Очистка поверхности заготовок перед нагревом	Для удаления поверхностных окислов и загрязнений в условиях прецизионной штамповки (например, при штамповке медицинского инструмента) в целях получения поковок с поверхностью минимальной шероховатости
	6. Нагрев заготовок	Для снижения сопротивления деформации и возможного увеличения пластичности; обеспечения определенного термомеханического режима деформации металла с целью получения высококачественных поковок
	7. Очистка поверхности нагретых заготовок	Для повышения точности поковок и увеличения стойкости штампов
II. Формоизменяющие операции	1. Профилирование и фасонирование заготовок	Для перераспределения металла заготовки в соответствии с величиной площадей поперечных сечений и объемов элементов поковки
	2. Предварительная штамповка	Для получения формы, близкой к окончательной, с целью уменьшения объема заусенца, повышения точности поковки и увеличения стойкости окончательного ручья штампа

Группа операций	Наименование операции	Назначение и область применения
II. Формоизменяющие операции	3. Окончательная штамповка	Для получения окончательной формы поковки без или с дополнительными формоизменяющими и отделочными операциями
III. Охлаждение и термическая обработка	1. Методическое охлаждение 2. Нормализация 3. Отжиг 4. Высокий отпуск 5. Улучшение (закалка — отпуск)	Для снятия внутренних остаточных напряжений и получения оптимальной макро- и микроструктуры, а также механических свойств (твердости, предела прочности, относительного удлинения и сужения, ударной вязкости и пр.) в соответствии с техническими условиями
IV. Обрезные и отделочные операции	1. Обрезные для заусенцев и перемычек 2. Срезание напусков от штамповочных уклонов 3. Зачистка заусенцев 4. Очистка поверхности поковок 5. Правка поковок 6. Калибровка поковок (холодная и горячая)	Для удаления заусенцев, перемычек с целью получения поковок окончательной формы Для уменьшения объема механической обработки Для удаления (абразивной обработкой на наждачных станках) остаточных заусенцев после их обрезки или торцового заусенца при штамповке в закрытых штампах Для удаления дробеметной обработкой, галтовкой или травлением окалины и получения поверхностей поковок допустимой шероховатости Для устранения искажения (искривлений, коробления, закрутки) формы поковок Для получения размеров или массы поковок в пределах относительно жестких допусков и поверхностей поковок допустимой шероховатости
V. Контроль качества и контрольные операции	Контроль: 1) исходного металла; 2) резки заготовок; 3) нагрева заготовок; 4) формоизменяющих операций; 5) отделочных операций; 6) структуры и механических свойств поковок	Для установления требований в соответствии с техническими условиями; применяют на всех стадиях производства поковок

П. П. Еднерал на основании опыта штамповки 45 типов поковок на ЗИЛе показал, что работа одного удара молота двойного действия, затрачиваемая в чистовом ручье штампа и отнесенная к объему поковки, дает значительно большие отклонения от средних значений, чем в случае отнесения ее к площади проекции поковки с включением площади заусенца.

Этим автором установлены следующие расчетные формулы:

$$A_{\text{уд}} = \beta F_{\text{пр}}, \quad G = \psi F_{\text{пр}}, \quad (94)$$

где $A_{\text{уд}}$ — работа одного удара молота, Дж; β — удельная работа одного удара молота, Дж/м²; G — фактическая масса падающих частей молота, кг; $F_{\text{пр}}$ — суммарная площадь горизонтальной проекции поковки и заусенца в конце штамповки, м²; ψ — удельная масса падающих частей молота, кг/см².

Для конструкционных низко- и среднеуглеродистых, а также для низколегированных сталей при температуре конца штамповки $\beta = 550$ Дж/м²; $\psi = 400$ Дж/м².

Для определения приблизительного соотношения между усилием прессы и массой падающих частей молота можно воспользоваться выражением, предложенным Е. П. Унковым

$$P = (10 \div 12) G,$$

где P — усилие штамповки прессы, МН; G — масса падающих частей молота, т.

Большее значение коэффициента в скобках относится к более крупному по мощности оборудованию.

Экспериментальные методы. Метод определения усилия с помощью месдоз обычно используют в исследовательских целях, поскольку в этом случае процесс штамповки уже осуществлен. С аналогичной целью используют метод визиопластичности.

Один из экспериментальных методов, используемый для определения типоразмера оборудования, основан на известном положении о подобии. На модели небольшого размера воспроизводят процесс штамповки. При этом с помощью приборов фиксируют необходимые величины (работу, усилие деформации), которые затем пересчитывают с учетом масштабных коэффициентов для процессов, совершаемых динамически в условиях высоких температур.

С учетом положения о подобии формула для определения усилия, необходимого для деформации, имеет вид

$$P = MrF, \quad (95)$$

где p — удельное усилие при деформации модели в тех же условиях, в которых протекает процесс в натуре, МН/м²; F — контактная площадь натуре, м²; M — масштабный коэффициент,

значения которого по С. И. Губкину приведены ниже в зависимости от массы поковки $G_{\text{пок}}$:

Объем поковки $V_{\text{пок}}$, см ³	Масса поковки $G_{\text{пок}}$, кг	Масштабный коэффициент M
До 25	0,2	1,0
Свыше 25 до 100	0,2—0,8	1—0,9
» 100 » 1 000	0,8—7,8	0,9—0,8
» 1 000 » 5 000	7,8—39,5	0,8—0,7
» 5 000 » 10 000	39,5—78,5	0,7—0,6
» 10 000 » 15 000	78,5—118,0	0,5
» 15 000 » 25 000	118,0—196,5	0,5—0,4
» 25 000	Свыше 196,5	0,4

В более поздних работах Московского института стали и сплавов было установлено, что в зависимости от отношения размеров $\frac{D_0}{H_0}$ заготовки поправочный коэффициент не одинаков. Чем больше начальное отношение размеров $\frac{D_0}{H_0}$, тем больше снижается удельное усилие на деформацию при увеличении объема заготовки. Указанные выше данные относятся к $\frac{D_0}{H_0} = 1 \div 2$.

Теоретические методы. В основу теоретических методов расчета усилия при штамповке приняты положения теории пластических деформаций. Соответствующие методы изложены в курсе теории обработки металлов давлением (см. например, [21]). Ниже приведены формулы, рекомендуемые для практического использования.

М. В. Сторожевым предложены следующие формулы для определения полного усилия P на последней стадии штамповки в открытых штампах:

$$P = P_3 + P_{\text{пок}},$$

где P_3 и $P_{\text{пок}}$ — усилия деформации заусенца и поковки.

Для поковок удлиненной формы шириной $B_{\text{пок}}$ на виде сверху

$$P = 1,15\sigma_T(t) \left\{ \left(1 + \frac{1}{2} \frac{b_3}{h_3} \right) F_3 + \left[\frac{b_3}{h_3} - 0,25 + 1,25 \left(\ln \frac{B_{\text{пок}}}{h_3} + \frac{h_3}{B_{\text{пок}}} \right) \right] F_{\text{пок}} \right\}. \quad (96)$$

Для круглых поковок диаметром $D_{\text{пок}}$ на виде сверху (или приводимых к ним)

$$P = \sigma_T(t) \left\{ \left(1,5 + \frac{1}{2} \frac{b_3}{h_3} \right) F_3 + \left[\frac{b_3}{h_3} - 0,375 + 1,25 \left(\ln \frac{D_{\text{пок}}}{h_3} + 2 \frac{h_3}{D_{\text{пок}}} \right) \right] F_{\text{пок}} \right\}, \quad (96')$$

где b_3 и h_3 — ширина и толщина заусенца по мостику в конце штамповки; F_3 и $F_{\text{пок}}$ — площади проекций заусенца и поковки в плоскости разреза штампа.

Эти формулы выведены комбинированным методом при решении приближенных уравнений равновесия совместно с условием пластичности (для заусенца) и методом линий скольжений (для поковки). Формулы действительны при $\frac{h_3}{D_{\text{пок}}} = 15 \div 65$, причем предполагается, что пластическая зона, найденная методом характеристик, вписывается в контур вертикального сечения штампа. Для тонких по высоте поковок, которые не отвечают этому требованию, М. В. Сторожев рекомендует определять полное усилие штамповки по формулам для осадки, принимая за высоту поковки высоту заусенца h_3 , а диаметр или ширину поковки увеличивая на двойную ширину мостика заусенца ($2b_3$).

Формула Е. П. Унксова для усилия штамповки в закрытом штампе поковки диаметром $D_{\text{пок}}$ с полостью диаметром d и глубиной l имеет вид

$$P = \sigma_T \left[\left(1 + 2l \frac{4\mu l}{D_{\text{пок}} - d} \right) \left(1 + \frac{\mu d}{3h_d} \right) F + (F - f) \right], \quad (97)$$

где $F = \frac{\pi D_{\text{пок}}^2}{4}$; $f = \frac{\pi d^2}{4}$; h_d — толщина дна поковки; μ — коэффициент трения.

По найденному полному усилию подбирают по каталогу ближайший больший пресс. Для перехода от усилия к массе падающих частей молота используют известный метод, согласно которому запас энергии одного удара молота

$$A_{\text{уд}} = \epsilon V \rho_{\text{уд}}, \quad (98)$$

где ϵ — деформация за последний удар (обычно принимают 3—5% исходя из деформации меньше критической по условиям рекристаллизации металла); V — объем поковки, м^3 ; $\rho_{\text{уд}}$ — удельное усилие течения в конце штамповки с учетом скоростного коэффициента, МН/м^2 .

Как известно,

$$A_{\text{уд}} = \eta \frac{G \omega^2}{2},$$

где η — к. п. д. удара, равный примерно 0,8; G — масса падающих частей молота, кг ; ω — скорость штампа в момент соприкосновения с поковкой, равная 6,5 м/с .

Число ударов молота n при штамповке можно определить из выражения

$$A = n A_{\text{уд}}. \quad (99)$$

Работа при штамповке может быть определена, например, по формуле

$$A = p_{\text{ср}} V \ln \frac{H_0}{H_{\text{ср}}}, \quad (100)$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее удельное усилие течения при штамповке по Е. П. Унксову,

$$p_{\text{ср}} = \frac{4}{5} \left(p_{\text{нач}} + \frac{p_{\text{кон}}}{4} \right); \quad (101)$$

H_0 — начальная высота заготовки; $H_{\text{ср}}$ — средняя высота поковки, полученная делением объема поковки на площадь ее проекции.

Определение усилия пресса для обрезных операций. Необходимое усилие пресса зависит от сопротивления среза стали данной марки, температуры, при которой происходит обрезка, периметра среза и толщины заусенца.

При выборе оборудования для горячей обрезки заусенца на практике используют следующее примерное соотношение: 1 МН усилия обрезного пресса на каждую тонну массы падающих частей молота или на каждые 10 МН усилия штамповочного пресса. При расчете требуемого усилия на обрезку заусенца данной поковки и для выбора обрезного пресса исходят из следующих соображений.

Усилие среза

$$P_{\text{ср}} = F_{\text{ср}} \sigma_{\text{ср}}, \quad (102)$$

где $F_{\text{ср}}$ — площадь среза заусенца или пленки, м^2 ; $\sigma_{\text{ср}}$ — предел прочности на срез, Н/м^2 .

При этом учитывают следующее.

1. Площадь среза $F_{\text{ср}}$, подсчитываемая как произведение периметра Π среза на толщину заусенца h_z или толщину перемычки $h_{\text{пер}}$, увеличивается при затуплении режущих кромок инструмента и износе порога канавки.

2. Действительная толщина заусенца может оказаться значительно больше расчетной при недоштамповке поковок.

Указанное заставляет ввести поправочный коэффициент в формулу для определения усилия при чистом срезе. При самых неблагоприятных условиях усилие резки возрастает на 70%, поэтому

$$P_{\text{ср}} = 1,7 \sigma_{\text{ср}} \Pi h. \quad (102')$$

Обычно при расчете вместо $\sigma_{\text{ср}}$ используют значения $\sigma_{\text{в}}$, которые указаны в справочниках для сталей различных марок. При $\sigma_{\text{ср}} \approx 0,8 \sigma_{\text{в}}$ получим

$$P_{\text{ср}} \approx 1,4 \sigma_{\text{в}} \Pi h, \quad (102'')$$

где Π — периметр места реза, мм ; h — толщина заусенца, мм .

Если одновременно с обрезкой заусенца удаляют перемычку, то усилия этих операций суммируют. Однако для уменьшения расчетного усилия можно предусмотреть определенную последо-

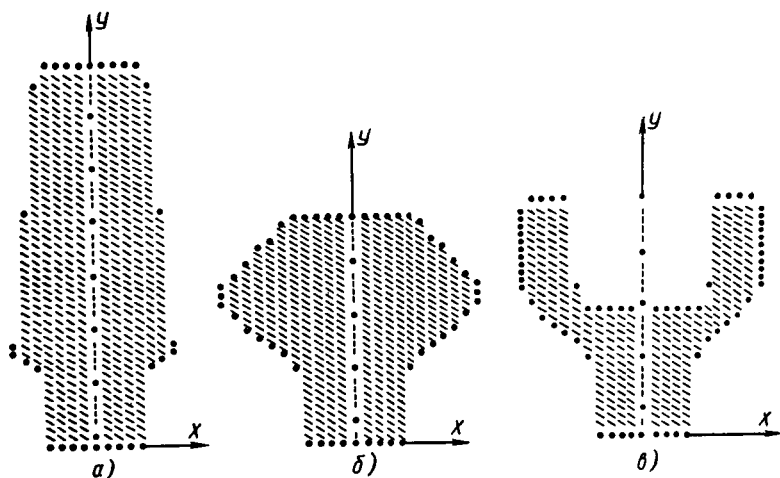


Рис. 309. Продольные сечения переходов высадки, полученные с применением ЭВМ (по Г. П. Тетерину)

а — наборный переход; б — предварительная и в — окончательная формовка

тельность обрезки заусенца и перемычки, выполняемых за один ход пресса. Величину $\sigma_{\text{в}}$ следует принимать с учетом температуры, при которой обрезают поковки.

Для технологических расчетов начали успешно применять счетно-решающие устройства; это возможно, поскольку все технологические параметры определяют по нормативным или стандартизованным данным. Задача сводится к составлению соответствующего алгоритма, после чего технологическую разработку можно осуществить за несколько минут.

Конструирование штампов сводится к определению расчетных размеров всех элементов ручьев применительно к нормализованным вставкам и пакетам или блокам для каждого типоразмера оборудования, установленного при расчете.

Экономические расчеты (себестоимость, эффективность) обычно являются завершающими при разработке технологических процессов штамповки. Результаты всех расчетов заносят в так называемую карту технологического процесса.

Преимущества и содержание работ при машинном проектировании описаны в гл. IV применительно к ковке. Для штамповки процесс разработки остается таким же. На рис. 309 приведены переходы высадки поковки, полученные машинным способом на ЭВМ «Минск-22». Форма переходов образуется на основании расположения узловых точек каждого контура в продольном сечении в соответствии с их координатными значениями X и Y , которые задают в соответствующей таблице. Для указанных переходов число точек составляет 9, 13 и 21 (они обозначены черными кружками и отсчитываются по ходу часовой стрелки).

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПОКОВОК

(технология крупносерийного
и массового производства поковок)

1. Общие положения

Технологические процессы изготовления поковок совершенствуются за счет специализации оборудования, рабочего инструмента и технологических переходов, а также механизации или автоматизации вспомогательных (передаточных) операций. Суммарный эффект специализации, механизации и автоматизации обеспечивает высокий технический уровень производства поковок, который также зависит от масштаба и серийности производства.

Преимущества крупносерийного и массового высокомеханизированного или автоматизированного производства общеизвестны. Они обуславливаются многократностью одинаковых процессов, операций, приемов и ритмичностью их совершения в условиях непрерывности процессов с немногочисленными непродолжительными остановками, необходимыми для замены изношенного инструмента и проверки состояния отдельных агрегатов, узлов или элементов линий. Эффективность этих преимуществ определяется уровнем специализации производства и возрастает с увеличением его серийности и масштаба. Указанные обстоятельства выделяют крупносерийное и массовое производства в группу более совершенных, а серийное и особенно мелкосерийное производство — в группу менее совершенных производств, экономическая эффективность которых относительно низка.

Однако широко внедряемые ЭВМ принципиально изменяют условия несовершенного среднего и даже мелкосерийного производства, создавая условия, в какой-то степени сближающие их экономическую эффективность с эффективностью крупносерийного производства. Если высшим достижением крупносерийного и массового специализированного производства является программируемая автоматизация процессов, то для производства, не отличающегося большой серийностью, — это комплексная механизация процессов. Значение мелко- и среднесерийного производства очень велико, так как всегда будут необходимы в относительно небольшом числе отдельные машины, механизмы, сооружения, установки. Если такие виды продукции, как автомашины, тракторы, швейные машин, велосипеды и т. п., нужны и выпускаются

миллионными сериями, то, например, корабли, мощные дизели и турбины и т. п. машины могут быть необходимы в значительно меньшем числе. Сопоставление объема массового производства поковок и серийного их производства в современном машиностроении соответствует 1 : 20 или 1 : 10. Таким образом, совершенствование мелко- и среднесерийного производства, также как крупносерийного и массового производства, является важной народнохозяйственной задачей.

Требования быстрой оборачиваемости оборотных средств и невыгодность содержания промежуточных складов не позволяют выполнять годовую программу каждой поковки в короткий срок. Это обстоятельство приводит к измельчению и без того небольших годовых серий многих производств.

Совершенствование производства поковок небольшими сериями или партиями при разбивке годовой серии на ряд партий поковок, поставляемых для сборочных цехов еженедельно, ежедекадно или ежемесячно возможно при четкой системе календарного планирования и организации управления работой оборудования. Эту работу выполняют ЭВМ. Переналадка штамповой оснастки не должна приводить к большим потерям времени, для чего ее надо выполнять пакетным способом с подготовкой всего инструмента вне рабочего места. Число переналадок возможно сократить за счет укрупнения изготавливаемых партий поковок. С этой целью возможно также объединение двух и большего числа поковок в общую поковку с последующим разделением, например, левых и правых, верхних и нижних вписываемых друг в друга деталей с целью совместной штамповки и многие другие рациональные приемы. Увеличение в партии числа поковок, штампуемых подряд, экономически оправдывает применение специального инструмента, приспособлений и устройств. Специализация производства возможна также за счет группового использования элементов оснастки. Однако все это требует определенной организации управления процессами переналадки, гибкого и четкого планирования и контроля над чередованиями технологических вариаций в минимально короткое время.

При достаточно больших сериях производства поковок целесообразно фасонирование заготовок и даже изготовление поковок специализированными или узкоспециализированными методами. С этой целью вместо универсальных машин используют машины специального назначения; при этом технико-экономические показатели их производства значительно повышаются. К таким машинам относятся прокатные станы, ковочные валцы, ковочно-обжимные (вертикальные и горизонтальные), гибочные (бульдозеры), раскаточные, электровысадочные и другие машины для производства цепей, рессор, пружин и подобных им массовых деталей.

При узкоспециализированном производстве целесообразно процесс доводить до готовой детали. Если это осуществить не удастся,

то специализированный процесс используют только для производства поковок. Если такими методами нельзя получить готовые поковки (например, при очень сложной их конфигурации), то ограничиваются специализированным фасонированием заготовок с последующей их штамповкой на универсальных машинах.

Специализация производства фасонных заготовок или поковок на базе упрощенной технологии создает условия для высокой механизации и автоматизации производственных процессов на базе современных средств автоматизации. К последним относятся автоматы-двигатели, автоматы-орудия и управляющие автоматы¹.

Анализ работы кузнечных агрегатов свидетельствует о наличии больших резервов увеличения производительности действующего оборудования за счет повышения коэффициента его загрузки. Чтобы производить быстро и большое число поковок, нужно обеспечить непрерывность технологического процесса, каждая стадия которого должна совершаться с оптимальной скоростью.

Непрерывность процесса производства поковок (деталей) в сочетании с их высокой технологичностью и тщательно подобранными переходами составляет условия для построения оптимального варианта кузнечной технологии. При этом обеспечивается высокий уровень трех основных показателей любого производства: производительности, экономичности и качества продукции. Кроме того, должны быть обеспечены требуемые санитарно-гигиенические условия труда, условия техники безопасности и охраны окружающей среды.

Возможность осуществления непрерывного технологического процесса производства поковок не встречает затруднений, так как он отличается малооперационностью; отдельные операции его легко сочетаются между собой и обычно согласуются по затрачиваемому на них времени. Здесь основные трудности связаны с изменением условий работы инструмента, невысокая стойкость которого еще больше снижается при непрерывной работе. Однако эти трудности можно устранить за счет применения новых штамповых материалов и правильной эксплуатации штампов (см. гл. IX).

Непрерывность процесса позволяет сблизить сроки износа данного оборудования и его морального устаревания в условиях быстрого совершенствования и появления новых моделей кузнечных машин. Некоторые зарубежные фирмы вводят трехсменную работу кузнечных машин именно для скорейшего их износа.

В данной главе рассмотрены специализированные технологические процессы изготовления поковок мелких и средних размеров, а в последнем разделе главы — особенности технологии автоматизированного производства поковок.

¹ Вопросы механизации и автоматизации подробно рассмотрены в курсе «Механизация и автоматизация кузнечно-штамповочного производства».

Эффективность специализированного производства тем выше, чем проще технологический процесс, что в известной степени определяется конфигурацией поковок. Для упрощения способов производства сложных поковок можно использовать некоторые технологические приемы, которые также описаны в данной главе. Возможности увеличения серийности производства поковок за счет кооперирования и централизации производства, унификации поковок, групповых технологических процессов, применения сборных штампов и т. п. описаны в предыдущих главах.

Ниже приведены отдельные наиболее типичные приемы, помогающие упростить технологический процесс и создать условия для организации специализированного производства поковок.

2. Специализация и рационализация подготовительных операций

Как известно, к подготовительным операциям относятся разделка прутков торговой длины на мерные заготовки и фасонирование последних.

Непрерывность технологического процесса в условиях работы машин с возвратно-поступательным циклом рабочего хода состоит в использовании для деформации номинального числа ходов данной машины за единицу времени. При нормальном нагружении машины это возможно за счет совершения вспомогательных операций (по перекладке заготовки из ручья в ручей или укладке в ручей новой очередной заготовки) в промежутке между операциями, совершаемыми машиной. Несмотря на то, что полезная часть хода в 3—4 раза меньше всего хода машины, времени для совершения вспомогательных операций бывает недостаточно и технологический процесс совершается с большой прерывностью.

Штамповка от прутка. Одним из способов, обеспечивающих упрощение вспомогательных операций и непрерывность процесса, является штамповка от прутка, широко используемая при высадке на горизонтально-ковочных машинах, а также на молотах и прессах (рис. 310). При этом способе, особенно целесообразном для небольших поковок, отпадает необходимость в предварительной разрезке прутков на отдельные заготовки; кроме того, может быть использован и прокат периодического профиля. Для вспомогательных операций могут быть использованы простые и дешевые средства механизации и автоматизации. Например, в подшипниковой промышленности горизонтально-ковочные машины, оборудованные подъемными столами, обеспечивают с одного нагрева прутка последовательное изготовление до 25 поковок.

Для упрощения не только вспомогательных, но и технических операций применяют различные приемы специализированного фасонирования заготовок.

Применение профильного проката. При выборе круглых и квадратных заготовок исходят из целесообразности их примене-

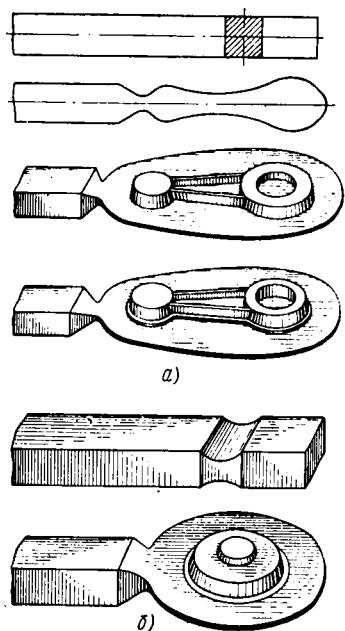


Рис. 310. Штамповка от прутка длинноносных поковок (а) и поковок типа тел вращения (б) с целью упрощения перекладки заготовок из ручья в ручей

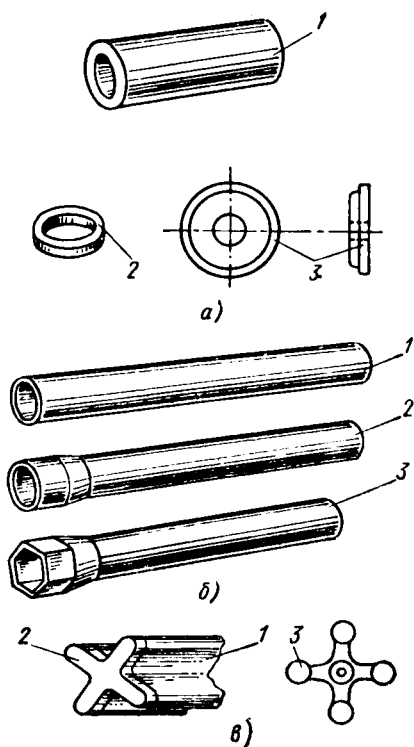


Рис. 311. Использование профильного проката в качестве заготовок без предварительного их фасонирования:

1 — профиль; 2 — отрезанная заготовка; 3 — готовая поковка

ния с экономической точки зрения. Однако при использовании производительных и недорогих способов разрезки металла на заготовки экономически выгодно применять такие профили, после разрезки которых заготовки не требуют дополнительного фасонирования и могут быть подвергнуты одноручевой штамповке (рис. 311).

При штамповке круглых изделий с отверстиями успешно применяют трубные заготовки (цельнотянутые трубы).

Из таких заготовок можно получать поковки, имеющие форму фасонного кольца, штамповкой в одном ручье за один-два рабочих хода машины (рис. 311, а). Головка торцового гаечного ключа при изготовлении его из трубы оформляется в двух ручьях горизонтально-ковочной машины (рис. 311, б). При штамповке маховиков целесообразно использовать фасонный прокат крестообразной формы (рис. 311, в). На рис. 312 приведены изделия, получаемые из профилированного проката горячей штамповкой

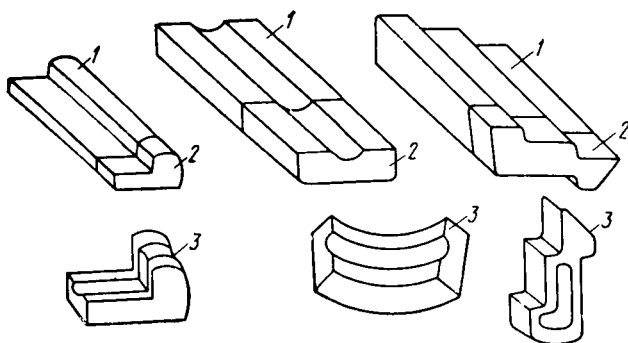
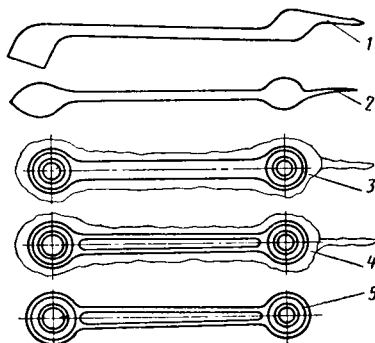
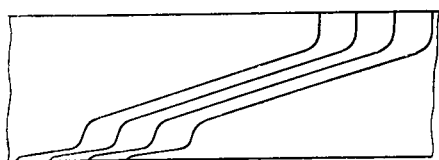


Рис. 312. Варианты одноручевой штамповки заготовок из профильного проката:

1 — профиль; 2 — мерная заготовка; 3 — поковка

в открытых или в закрытых штампах, а также точной горячей калибровкой. Успешное применение подобной штамповки зависит от того, насколько производителен способ разрезки профильного проката на заготовки. В массовом производстве штамповка с отрезкой заготовок от прутков профильного проката значительно сокращает отходы при одновременном увеличении производительности. Однако прокат имеет характерное расположение волокон, которое исходя из назначения готового изделия не всегда является оптимальным в прокатной заготовке. Наличие отходов при разрезке дорогостоящих прутков профильного проката также является недостатком указанного способа штамповки.



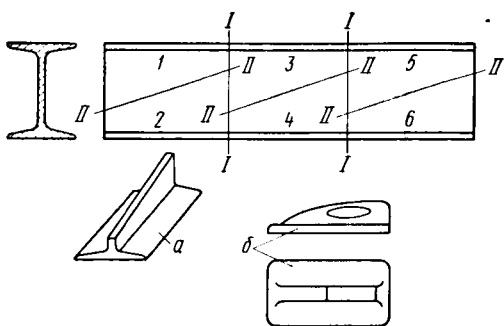
Отрезка заготовок. Фасонные заготовки отрезают из полосового материала, что позволяет штамповать их непосредственно в чистовом ручье. Однако во избежание значительных потерь металла необходимо применять малоотходную отрезку заготовок.

На рис. 313 показан упрощенный способ фасонирования заготовки для шатунов. Отрезка из полосы по сложному контуру обеспечивает безотходный раскрой металла. Фасонную заготовку 1

Рис. 313. Переходы при штамповке шатунов из мерных заготовок

Рис. 314. Безотходная отрезка заготовок из двутаврового профиля:

*а — фасонная заготовка;
б — готовая поковка*



формуют в подготовительном ручье 2 и штампуют сначала в черновом 3, а затем в чистовом 4 ручьях. Поковку шатуна 5 получают с незначительными отходами при относительно простом технологическом процессе.

Пример рациональной разрезки фасонного проката на отдельные заготовки для штамповки показан на рис. 314. Двутавровое сечение фасонного проката по линиям *I—I* разрезают на равные части. Затем каждую из этих частей разрезают по линии *II—II*. Таким образом, получают одинаковые заготовки 1, 2, 3, 4 и т. д. таврового сечения, которые затем штампуют до окончательных размеров.

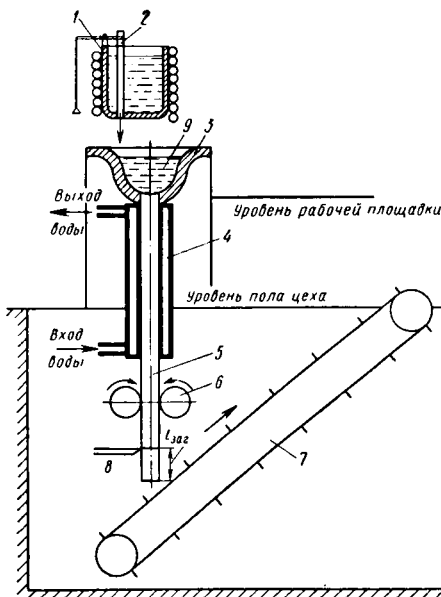
При горячей штамповке заготовок, вырезанных из листа или полосы, получают поковки с размерами высокой точности. При холодной калибровке еще больше повышается точность размеров изделий, качество же получаемой поверхности в отдельных случаях не уступает шлифованной. Преимущества приведенных способов заключаются также в уменьшении затрат труда и экономии энергии. При штамповке на молоте изделия получают за один-два удара, а производительность при этом увеличивается в 2—2,5 раза.

Применение проката периодического профиля. Для штамповки все более широко применяют прокат периодического профиля (см. рис. 18). Увеличение производительности и экономия металла в крупносерийном и массовом производстве компенсируют сложность получения проката периодического профиля. Если обычный прокат используют для продольной и поперечной штамповки в открытых и закрытых штампах, то периодический прокат — только для поперечной штамповки преимущественно в открытых штампах.

На заводах СССР производят периодические профили продольной и поперечной прокаткой. Так, например, из профилей, полученных продольной прокаткой, штампуют балки передней оси автомобиля. Недостатки продольной прокатки связаны с образованием заусенцев, которые снижают выход годного, и сложностью получения относительно небольших серий заготовок. Все большее распространение получает периодический профиль, изготавлива-

Рис. 315. Схема установки непрерывной разливки стали в комбинации с ножницами для разделки металла на мерные заготовки;

1 — копильник со стопором 2; 3 — приемная воронка; 4 — кристаллизатор; 5 — болванка литая; 6 — тянущие валки; 7 — подающий конвейер; 8 — механизм для отрезки заготовок; 9 — жидкий металл (по М. С. Эдуардову)



мый поперечной прокаткой. Станы для поперечной прокатки можно устанавливать вблизи штамповочных агрегатов, ввиду простоты переналадки они могут обеспечивать выпуск относительно небольших серий фасонных заготовок. На рис. 240 приведены фасонные заготовки, полученные продольной и поперечной прокаткой. Такие

заготовки штампуют в чистовом ручье. Освоены и применяют для штамповки пустотелые периодические профили.

Вальцовкой фасонных заготовок на консольных вальцах получают мерные фасонные заготовки; из-за простоты смены инструмента вальцы обычно работают в агрегате с оборудованием для штамповки, причем процесс ведут с одного нагрева заготовки.

Штамповка литых заготовок. Штамповка литых заготовок известна давно, но не получила широкого распространения из-за стремления придать литой заготовке форму, близкую к формековки. При этом небольшая степень деформации в процессе штамповки не приводит к получению у металла поковок необходимых механических свойств. В связи с усовершенствованием УНРС (установок непрерывной разливки стали), которые могут быть расположены даже в здании кузнечно-штамповочного цеха, этот процесс становится рентабельным и технологичным (рис. 315).

Для заготовок диаметром 90 мм и выше применима горячая разрезка литой болванки на мерные заготовки, минуя прокатку. Такие заготовки штампуют с частичным использованием теплоты расплавленной стали. Этот процесс отличается простотой, минимальным маршрутом и экономным расходом металла (отсутствуют отходы разливки, прокатки и при нагреве). Однако применимость его обусловлена степенью деформации при штамповке, которая должна обеспечить разрушение литой структуры и оптимальные механические свойства металла. Если при ковке литой углеродистой стали деформация $\epsilon = 50\%$ (коэффициент уковки $K = 2$), то для штамповки литого металла, например, в штампе

для выдавливания, $\varepsilon = 85\%$ ($K=7$), как и при прессовании. Это объясняется меньшей способностью штамповки выдавливанием к проработке металла, чемковки, при которой деформации отличаются повышенной турбулентностью и отсутствием непроработанных застойных зон. Для увеличения степени деформации в описываемом процессе целесообразны подкатка, протяжка в ручьях штампа или штамповка с предварительной фасонировкой мерных заготовок на ковочных вальцах.

3. Специализация окончательных операций

Для упрощения переходов штамповки применяют различные приемы, например изменяют форму поковки на предварительных операциях (рис. 316). В таких случаях, когда поковка имеет форму, усложняющую процесс штамповки, в частности длинные боковые отростки, используют способ «складывания». Он заключается в том, что при штамповке отростки поковки пригибают к стержню. Это упрощает фасонирование и штамповку (рис. 316, а).

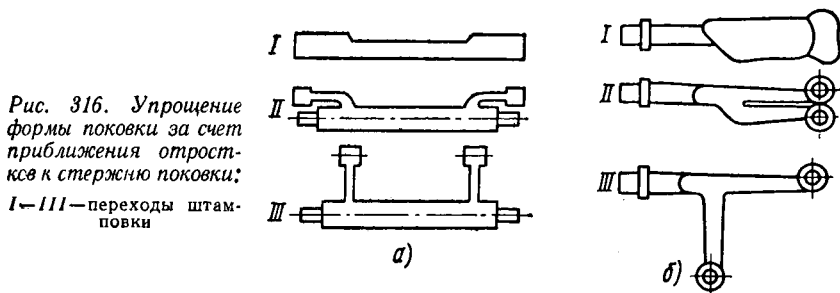
После штамповки отростки отгибают. Аналогично штампуют вагонный тормозной валик (рис. 316, б). Отгибка отростков в обоих случаях существенно не усложняет технологический процесс и происходит после обрезки заусенца на том же прессе.

Во многих случаях из-за конфигурации поковку удобнее штамповать в развернутом виде, затем обрезать заусенец и сгибать поковку соответственно требуемой форме (рис. 317).

При таком способе штамповки повышается стойкость штампов, так как исключается тяжелая операция рассекания металла (при образовании вилки).

Сращивание частей поковки. В некоторых случаях технологический процесс штамповки можно упростить штамповкой отдельных частей поковки, затем сращиванием их и обжатием в специальном ручье или непосредственно в чистовом ручье. Например, при изготовлении судовых цепей применяют заштамповку предварительно отштампованных частей звена, этим упрощают технологический процесс производства.

Совмещение штамповки нескольких поковок. Для упрощения можно последовательно штамповать две поковки удлиненной



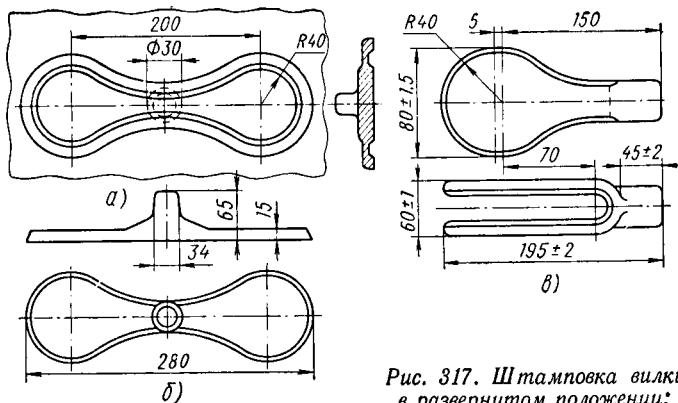


Рис. 317. Штамповка вилки в развернутом положении:

а — поковка до обрезки заусенца; б — обрезанная поковка; в — готовая поковка после гибки

формы с поворотом заготовки. Сначала штампуют одну поковку, а затем, после поворота заготовки, вторую. В этом случае отсутствует клещевина (и соответствующий отход), необходимая для удержания заготовки при штамповке единичной поковки.

Возможны различные варианты совмещенной штамповки нескольких поковок с последующей их разрезкой (рис. 318). Например, трудноштампуемые поковки (рис. 318, а и б) заменяют поковкой более простой конфигурации в случае их штамповки по 2 шт. Таким образом часто объединяют в общую поковку так называемые «правые» и «левые» детали машин. Рукоятки ручных фонарей (рис. 318, в), имеющие Г-образную форму, получить гибкой затруднительно из-за небольшой длины заготовки. Объединение указанных деталей по 5 шт. позволяет получать их в виде круглой поковки, при этом упрощается их штамповка. На рис. 318, г показано подобное объединение четырех одинаковых деталей в одну общую поковку. Во всех приведенных случаях упрощается не только штамповка, но и подготовительные операции; однако при этом необходима разрезка поковок (по линии к).

Совмещение штамповки части диктуется упрощением эпюры диаметров, в связи с чем устраняется необходимость в сложных подготовительных ручьях. Например, при штамповке поковок удлиненной формы с бобышками на концах применена спаренная штамповка с расположением их валетом (см. рис. 239). При таком расположении устраняют протяжку и подкатку заготовки. После пережима заготовки за один удар следует черновая и чистовая штамповка. После обрезки и термической обработки поковок, а также удаления соединительного припуска между ними поковки отделяются друг от друга.

Совмещенную штамповку применяют также для разгрузки штампа от горизонтальных сил. В рассмотренных случаях при

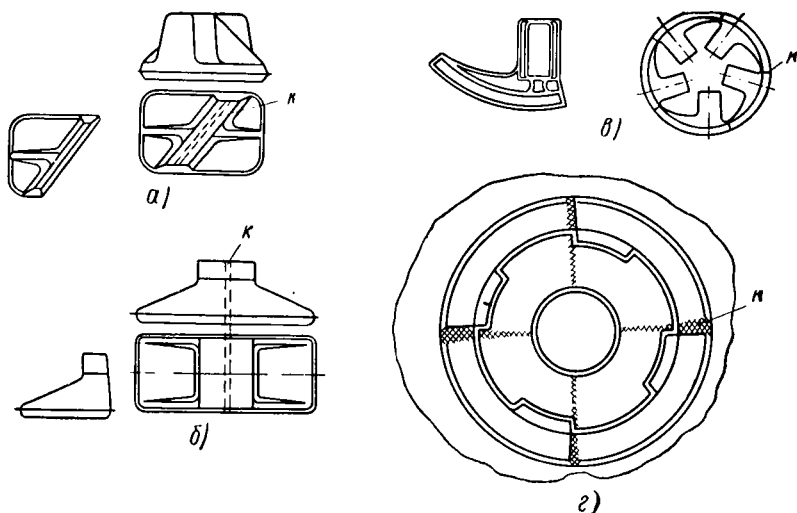


Рис. 318. Совместная штамповка различных и одинаковых поковок

совмещенной штамповке объединяли одинаковые поковки. Практикуют также совмещенную штамповку различных поковок. Особенно благоприятны условия для совмещенной штамповки нескольких круглых поковок с отверстиями (рис. 319). В этих случаях можно получить поковки за счет металла, идущего при другом способе штамповки в отход. Такой способ может быть применен в тех случаях, когда объединяемые для совмещенной штамповки поковки могут быть изготовлены из одной стали. На рис. 243 приведен пример многоштучной штамповки в случае расположения поковок цепочкой.

Уменьшение габаритных размеров поковки. Во многих случаях препятствием для штамповки являются большие габаритные размеры поковки (например, различные стержневые тяги с фасонными головками или законцовками). Штамповка таких поковок

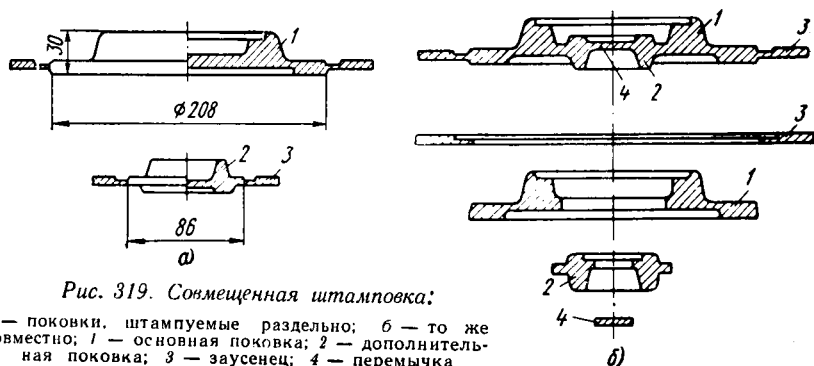


Рис. 319. Совмещенная штамповка:

а — поковки, штампуемые раздельно; б — то же совместно; 1 — основная поковка; 2 — дополнительная поковка; 3 — заусенец; 4 — перемычка

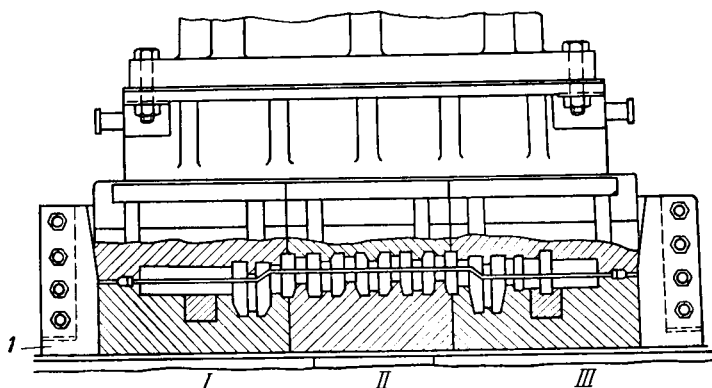


Рис. 320. Трехсекционный штамп для поковки шестиколленчатого вала

возможна при сокращенной длине их стержневой части и соответствующем удлинении ее после штамповки.

Штамповка по частям (секционная штамповка). В тех случаях, когда изделие не удастся штамповать целиком, применяют штамповку по частям. Этот способ можно применять в тех случаях, когда необходимо уменьшить габаритные размеры штампов и оборудования. Например, так штампуют балки передних осей автомобиля из проката периодического профиля (вначале штампуют один нагретый конец заготовки, а затем другой в том же ручье штампа).

Рассмотрим технологический процесс штамповки шестиколленчатого вала массой 1100 кг и длиной 3 м. Для этого необходим пресс усилием 196 МН. Вал можно штамповать по частям на прессе, усилие которого меньше во столько раз, на сколько частей разделена поковка при штамповке. В рассматриваемом случае поковку штампуют за два или три приема на гидравлическом прессе усилием 98 МН. Технологическая схема изготовления колленчатого вала состоит из отдельных операций. В подготовительном штампе после перераспределения металла вдоль оси и подкатки с набором бобышек получают фасонную заготовку. Фасонную заготовку предварительно штампуют за один ход пресса в открытом штампе. В том же штампе, разделенном на три секции (рис. 320), штампуют поковку по частям: вначале среднюю, а затем крайние за два или три хода пресса. После штамповки обрезают заусенец в обрезном штампе и правят — калибруют в окончательном ручье основного штампа. Следовательно, в рассматриваемом случае используют три штампа: подготовительный, окончательный и обрезной. Особый интерес представляет окончательный трехсекционный штамп (рис. 320). Нижняя часть штампа размещена в блоке I, который служит направляющей для верхней части штампа. Верхняя и нижняя части штампа разделены на три сек-

ции (I—III). Отдельные секции штампа включаются с помощью передвижных подкладок (на рис. 320 не показаны), которые вводят в действие среднюю часть штампа, а затем крайние части. При тщательной обработке процесса штамповка по частям не сопровождается образованием складок или перерезыванием волокон по месту стыка смежных секций штампа.

Устройство для специализированной поочередной штамповки колен крупных валов (массой 400—10 000 кг) на гидравлическом прессе усилием 58 800 кН показано на рис. 321. Нижняя часть устройства, установленная на столе пресса, состоит из двух рам 1 и 5, передвигающихся навстречу друг другу при надавливании на их скосы 2 и 4 соответствующими наклонными планками. Последние закреплены на верхней части 3 устройства, которое, в свою очередь, закреплено на траверсе пресса. Каждая часть штампа 6 и 7 состоит из двух половин: нижние закреплены на рамах 1 и 5, а верхние — на верхней части 3 устройства. Круглую заготовку предварительно обтачивают в местах будущих цапф вала до соответствующих размеров. Процесс штамповки начинается с образования фланца вала высадкой его (рис. 321, а); затем инструмент заменяют и штампуют первое колено вала (рис. 321, б); при этом опорной базой служит фланец вала. Вначале при штамповке высаживают щеки колена; это происходит при сближении частей штампа 6 и 7; затем пуансон 8 с подвижной опорной частью 10 опускается вниз и смещает цапфу колена в нужное положение при одновременном дальнейшем сближении частей штампа 6 и 7. Следующие колена штампуют аналогично. За один нагрев можно

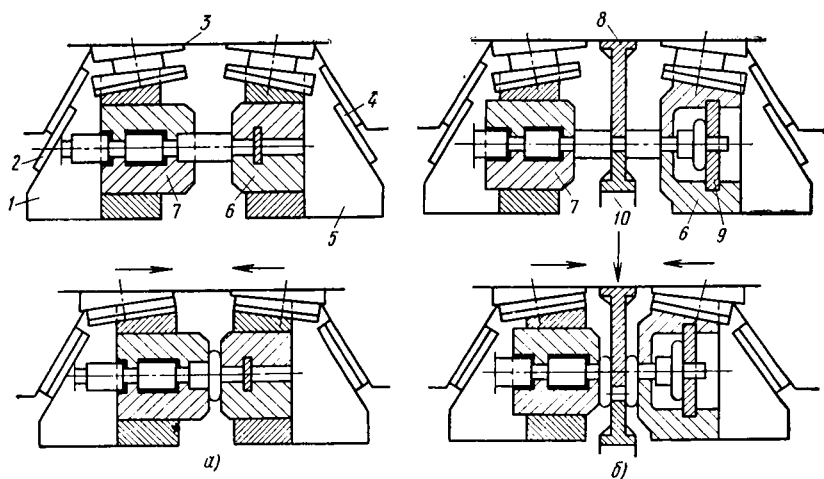


Рис. 321. Штамп для поочередной штамповки элементов крупных коленчатых валов;

а — начальное (вверху) и конечные (внизу) положения штампа при штамповке фланца вала; б — начальные (вверху) и конечные (внизу) положения штампа при штамповке первого колена вала

отштамповать два-четыре колена вала. Перестановкой опорных колец 9 можно штамповать валы при расположении соседних колен под любым углом относительно друг друга (без скручивания).

Секционной штамповкой можно изготавливать также поковки круглые в плане. На рис. 139 рассмотрен такой процесс, являющийся в данном случае переходным между ковкой и штамповкой.

Комбинированная штамповка. Достижение высоких технико-экономических показателей штамповки в значительной степени определяется правильным расчленением технологического процесса на отдельные элементы или на стадии, а также способом их осуществления.

Штамповка разнообразных поковок на универсальном оборудовании по мере укрупнения серийности производства уступает место такому специализированному производству поковок, при котором каждая операция совершается в оптимальных условиях на оборудовании, приспособленном только для данных целей. Одним из наиболее простых приемов специализации всего процесса штамповки является комбинированная штамповка, сущность которой заключается в том, что отдельные элементы или стадии технологического процесса осуществляют на различных машинах или в различных штампах более рациональными способами.

Существует много способов рационализации технологического процесса за счет применения комбинированной штамповки. В за-

висимости от сложности технологического процесса можно использовать комбинирование различных машин для отделения стадии фасонирования от стадии непосредственной штамповки поковок. При этом можно

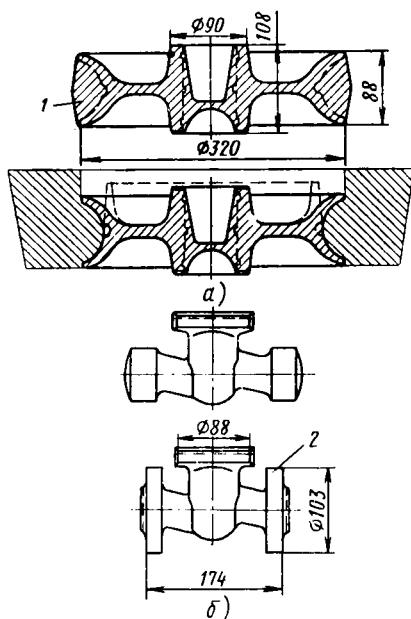


Рис. 322. Примеры комбинированной штамповки на универсальном оборудовании

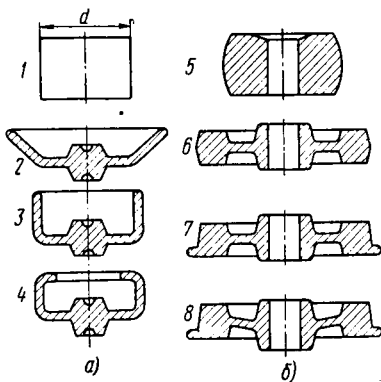


Рис. 323. Примеры комбинированной штамповки с использованием специального оборудования

применять комбинации из одинаковых машин различной мощности и из машин различных типов. К многочисленным примерам такого вида специализации относятся раздельное фасонирование и штамповка на двух молотах или на молоте и прессе, на горизонтально-ковочной машине и прессе, на вальцах и прессе и т. п. (см. рис. 241).

Способы специализации производства поковок на стадии их оформления из фасонных заготовок еще более многообразны, так как, кроме различных машин, для комбинированной штамповки можно использовать различные типы штампов (открытые, закрытые и для выдавливания). При ориентировании только на основные пять типов машин-орудий (молоты, горизонтально-ковочные машины и прессы — кривошипные, гидравлические, фрикционные) и на три типа штампов можно составить большое число вариантов комбинированной штамповки. Число этих вариантов возрастает при наличии более двух переходов при штамповке, а также при изменении последовательности штамповки в различных ручьях. Например, вариант комбинирования открытого штампа с закрытым служит для уточнения объема заготовки (за счет переменного объема заусенца) перед точной штамповкой в закрытом штампе. Обратная последовательность штамповки при данной комбинации штампов целесообразна для упрощения фасонирования заготовки при сложной форме поковки.

В общем штамповочном агрегате могут быть использованы не только различные универсальные машины, но и машины узкого назначения. При расчленении процесса на отдельные элементы учитывают особенности оборудования, включаемого в общий агрегат. Наиболее проста штамповка при разделении заготовительных и окончательных операций. Например, протяжные и подкатные операции на кривошипных прессах нецелесообразны, поэтому последние используют в сочетании с ковочными вальцами, обеспечивающими необходимое перераспределение металла перед штамповкой. На практике часто применяют обрезные прессы, входящие в агрегат как вспомогательное оборудование для правки и гибки поковок и т. п. Рассмотрим примеры комбинированной штамповки. При изготовлении обычным способом цепного (грузового) колеса (рис. 322, а) приходится предусматривать большой напуск l по месту расположения желоба, что приводит к значительным потерям металла. Комбинированная штамповка заключается в получении колеса с ребордой, форма которой указана штрихпунктирной линией. Под прессом в штампе с разъемной матрицей реборда отгибается до получения колеса нормальной формы. При этом процессе, помимо экономии металла, значительно сокращается объем механической обработки поковки.

Трубный тройник (рис. 322, б) можно получить комбинированной штамповкой сначала на молоте в открытом штампе, а затем на горизонтально-ковочной машине в закрытом штампе, в котором выполняют фланцы 2 тройника. Поковки с расширяющейся к дну полостью (рис. 323, а) можно получить также комбинированной

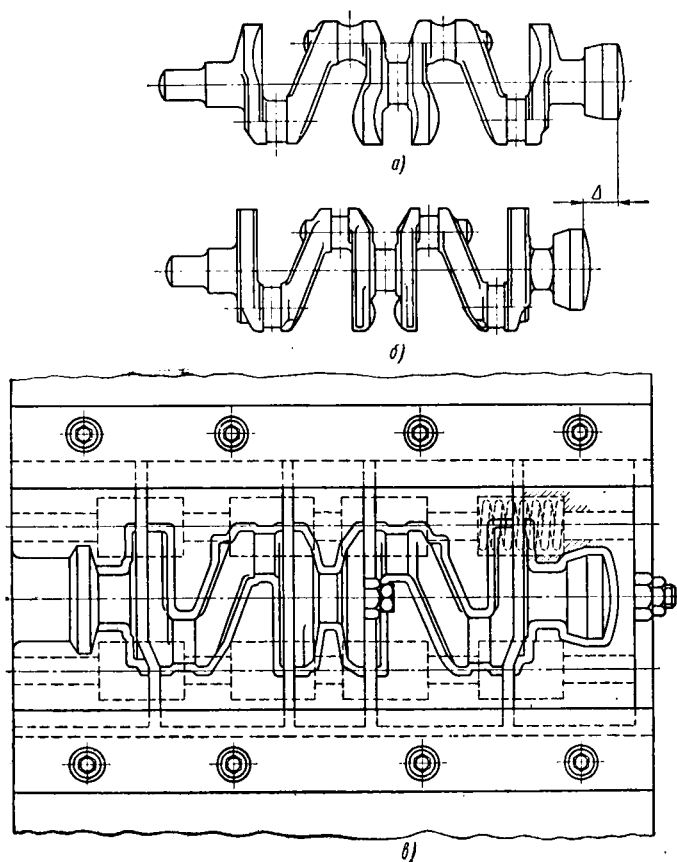


Рис. 324. Комбинированный процесс штамповки коленчатого вала на прессе и доштамповка его в скользящих матрицах горизонтально-ковочной машины:

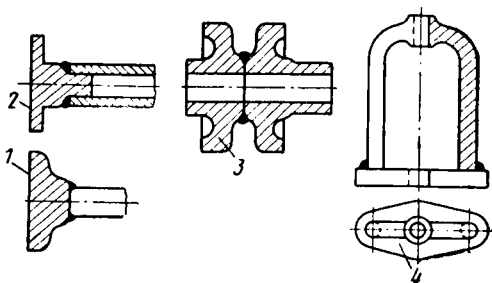
а — после штамповки на прессе; *б* — после доштамповки; *в* — скользящая матрица с ручьем для штамповки вала

штамповкой. После штамповки из цилиндрической заготовки 1 поковки в виде тарелки 2 ее протягивают сквозь кольцо и получают поковку в виде обечайки 3. Затем обкаткой кромки обечайки внутрь получают поковку 4 заданной формы.

Комбинированный процесс штамповки железнодорожных колес показан на рис. 323, б. Осаженную и проштампованную литую заготовку 5 штампуют в открытом штампе на молоте или прессе; полуфабрикат 6 раскатывают на раскаточной машине. В результате этого образуется реборда 7. Для придания колесу 8 большей устойчивости диск его изгибают на прессе.

На рис. 324 приведен пример комбинированной штамповки коленчатого вала. Для облегчения штамповки в открытом штампе

Рис. 325. Штампосварные поковки (условно места сварки зачернены)



на прессе длина поковки коленчатого вала должна быть больше (за счет большего расстояния между щеками колен), чем предусмотрено чертежом поковки. Доштамповка вала

происходит на горизонтально-ковочной машине в одноручьевом штампе со скользящими матрицами. За один ход длина поковки уменьшается на величину Δ , одновременно обжимают штамповочные уклоны и получают поковку с размерами, близкими к размерам детали. При таком процессе расположение волокон в металле соответствует очертанию поковки, несмотря на незначительное расстояние между щеками колен.

Штампосварные изделия. При комбинировании штамповки со сваркой можно получить изделия сложной формы и больших габаритных размеров. В промышленности применяют большое число штампосварных изделий. На рис. 325 представлено несколько примеров штампосварных изделий. Получение глухих фланцев на концах длинных стержней 1 или труб 2 обеспечивается приваркой к ним поковки соответствующей формы. Сваркой двух несложных поволоков получают блок шестерен 3 сложной формы; кронштейн 4 — после гибки предварительно высаженной поковки и приварки ее к плоскому фланцу. В промышленности применяют сварные штампованные рукоятки с приваренными ручками, штампованные тяги и много других частей или деталей машин. Очень крупные из них, а также изделия сложной формы могут быть составлены из трех и более отдельных штампованных поволоков. При необходимости штампосварные изделия подвергают механической обработке, как и обычные поковки.

4. Специализированное производство поволоков на оборудовании узкого назначения

Гибка на гибочных машинах. В нашей стране процессы гибки подробно исследованы Е. Н. Мошнинным, Е. А. Поповым и др. Для гибки металла в горячем состоянии применяют средние и крупные модели гибочных машин (бульдозеров), представляющих собой кривошипные машины с горизонтальным перемещением ползуна. Характерные особенности гибочных машин заключаются в относительно большой величине рабочего хода и возможности применения крупногабаритных штампов, что позволяет изгибать заготовки, размеры которых превосходят обычные размеры по-

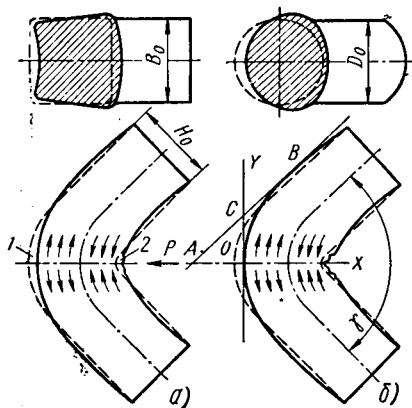


Рис. 326. Искажение профиля исходной заготовки при гибке:

a — прямоугольное и *б* — круглое сечения заготовки

молотах и т. п. Гибка может быть также завершающей операцией для поковок, полученных ковкой или штамповкой. При гибке на гибочных машинах заготовка свободно размещается в штампах или закрепляется в них с помощью специальных устройств.

Гибку в штампах отличают от свободной гибки, при которой заготовку, лежащую на двух опорах или закрепленную консольно, изгибают округлым инструментом, не имеющим очертаний поковки, как в случае гибки в штампах. При гибке в штампах процесс заканчивается правкой или даже калибровкой.

После изгиба необходима правка заготовки, так как ее участки, смежные с очагом деформации, искривляются, а поперечное сечение в месте изгиба искажается (рис. 326). В зоне 1 действия растягивающих напряжений (рис. 326, *a*) размеры сечения заготовки уменьшаются (смотри вогнутость слева в сечении прямоугольной заготовки $B_0 \times H_0$). В зоне сжатия 2 сечение увеличивается. Отрезок AB касательной, проведенной к контуру изогнутой под углом γ круглой заготовки диаметром D_0 , делится примерно пополам в точке пересечения с осью (рис. 326, *б*). Это обстоятельство послужило основанием для Рейтё считать линию внешнего контура изогнутой части заготовки параболой, уравнение которой имеет вид

$$Y^2 = 2\rho X,$$

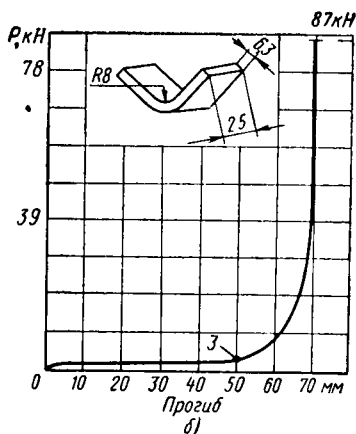
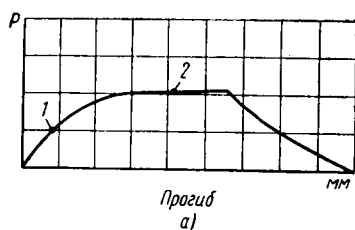
где ρ — радиус кривой в ее вершине.

Если радиус изгиба очень мал, то при большом угле изгиба могут образоваться в зонах сжатия нежелательные складки. С точки зрения пластичности металла для среднеуглеродистой стали при горячей гибке не существует ограничений величины минимального радиуса изгиба. Между толщиной изгибаемой заготовки H_0 , радиусом изгиба r и относительным сужением ψ известна следующая зависимость:

$$\psi = \frac{H_0}{2(r + H_0)}. \quad (103)$$

Рис. 327. Графики «усилие—рабочий ход» при гибке:

a—свободной; *б*—в штампах; 1—конец пружного изгиба; 2—пластический изгиб; 3 — точка, соответствующая началу калибровки (по И. И. Гиршу)



Из этой формулы видно, что при $r = 0$ (изгиб до соприкосновения между собой концов заготовок) $\psi = 0,5$. Чаще всего внутренний радиус гибки

$$r \geq \frac{H_0}{2}.$$

При этом согласно формуле (103) относительное сужение равно 0,33 (т. е. 33%). При проектировании оснастки следует проверять соответствие заданного радиуса изгиба относительному сужению данной стали при растяжении, причем должно быть выдержано соотношение

$$r \geq \frac{H_0 (1 - 2\psi)}{2\psi}. \quad (103')$$

Типовая диаграмма изменения усилия при горячей свободной гибке показана на рис. 327, а. Для уменьшения искажения сечения заготовки и увеличения точности угла изгиба в конце операции производят калибровку — обжатие заготовки по толщине. При этом требуется приложить значительные удельные усилия: кривая «усилие — рабочий ход» достигает максимума в конце хода (рис. 327, б). Усилие для гибки значительно меньше усилия для калибровки по толщине, которую иногда применяют в конце гибки. Поэтому при определении типоразмера гибочных машин исходят обычно из величины удельного усилия калибровки p_k и фактической площадки F , подлежащей калибровке:

$$P = p_k F. \quad (104)$$

На рис. 328 показано поперечное сечение заготовки по месту ее гибки в момент конца изгиба и начала калибровки по толщине заготовки H . Этому моменту соответствует точка 3 на рис. 327, б.

В некоторых случаях не применяют калибровочного обжатия, а частично исправляют искажения согнутых изделий только правкой.

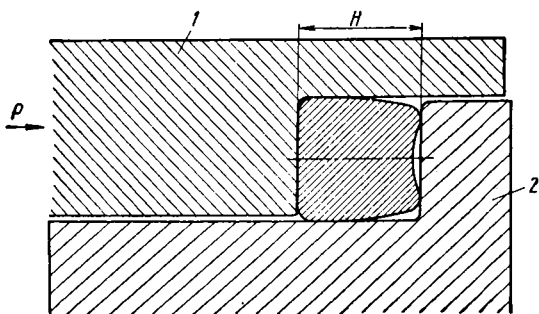


Рис. 328. Поперечное сечение заготовки, изогнутой в штампе:

— пуансон; 2 — матрица

При определении усилия P на пуансоне при гибке Е. А. Попов исходит из условия равновесия изгибаемой полосы (рис. 329):

$$P = 2R \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cos \frac{\alpha}{2} \right), \quad (105)$$

где α — угол изгиба полосы; μ — коэффициент трения полосы об инструмент; R — реакция, действующая на полосу со стороны каждой матричной опоры, которую находят из выражения

$$Ra = \frac{\sigma + H_0^2 B_0}{4};$$

H_0 — толщина и B_0 — ширина изгибаемой полосы; a — соответствующее плечо гибки.

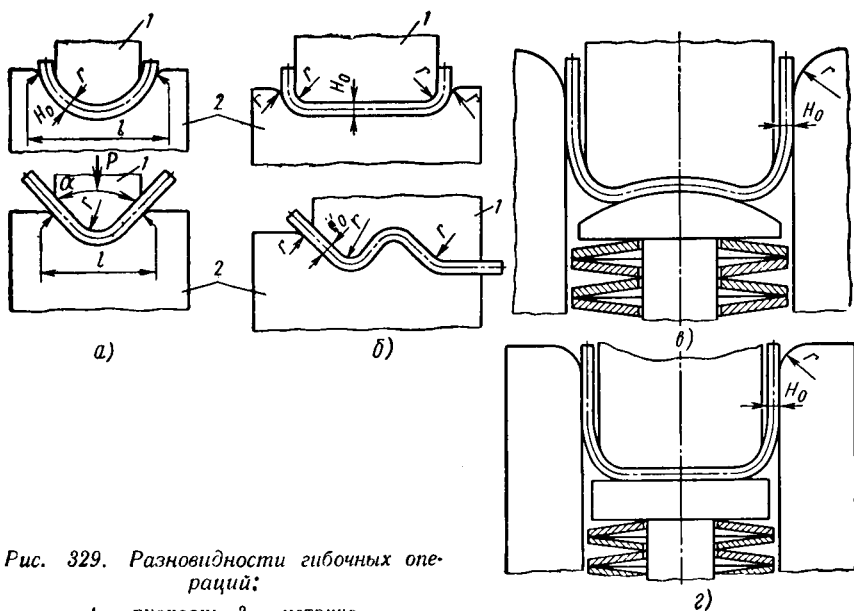


Рис. 329. Разновидности гибочных операций:

1 — пуансон; 2 — матрица

В преобразованном и упрощенном виде усилие гибки

$$P = \frac{\sigma_{T(t)} H_0^2 B_0 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{l + 2r - 4r \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (106)$$

где l — расстояние между опорами в гибочной матрице; r — радиусы закругления матричных опор и рабочего торца пуансона (или внутренний радиус гибки по чертежу детали) одинаковой величины. Величину $\sigma_{T(t)}$ (в МН/м²) выбирают в соответствии с температурой конца гибки.

При гибке нескольких углов усилия соответственно суммируются.

Для того чтобы не перегружать гибочную машину в конце хода, применяют гибку с прижимом средней полки поковки к подпружиненному дну матрицы (рис. 329, в, г). Если температура гибки невысока и возможно пружинение полок (обратный изгиб полки за счет возвратной упругой деформации) после снятия деформирующего усилия, то гибку совершают на меньший угол, чем указано в чертеже, и соответственно изгибают среднюю полку поковки (рис. 329, в). За счет пружинения эта полка выравнивается и скоба получает заданную форму и углы изгиба. Для учета пружинения необходимо либо определить его величину, либо принять по справочным данным.

Так как гибка не требует больших усилий и непродолжительна, то стальные заготовки чаще нагревают до 900—1000° С с тем, чтобы окончание гибки совпало с обычным рекомендуемым нижним пределом штамповочных температур (800—850° С).

При таком режиме образуется относительно небольшое количество окалины, но пружинение практически отсутствует. В отдельных случаях для уменьшения усилия сталь нагревают до более высоких температур, но в пределах, допустимых для штамповки. Последующая термическая обработка изделий устраняет недостатки, связанные с ростом зерна при высокой температуре окончания гибки.

Для уменьшения расхода топлива на нагрев и для ограничения очага деформации заготовку при гибке нагревают не всю (по длине), а лишь отдельные ее участки, находящиеся в зоне изгиба и в смежных с ними зонах.

Ширину и толщину заготовки обычно принимают равной ширине и толщине изделия, причем номинальные размеры и допуски на них определяются ГОСТом на материал заготовки, исключение составляют места, подвергаемые гибке. В этих местах устанавливают допуски с учетом характера деформации (свободная гибка, гибка с правкой или калибровкой изделия). Длину заготовки определяют по чертежу изделия

$$L_0 = \sum L_{np} + \sum L_{кр}, \quad (107)$$

где $\Sigma L_{\text{пр}}$ — суммарная длина прямолинейных участков; $\Sigma L_{\text{кр}}$ — суммарная длина криволинейных участков.

Длины прямолинейных участков определяют непосредственно по чертежу изделия.

Если внутренний радиус при гибке больше половины толщины полосы ($r > \frac{H_0}{2}$), то удлинение не принимают во внимание и расчет длины криволинейных участков ведут по средней линии:

$$L_{\text{кр}} = \frac{\pi}{180} \gamma \left(r + \frac{H_0}{2} \right), \quad (108)$$

где γ — центральный угол закругленного участка, рад.

Если $r = (0,2 \div 0,5) H_0$, длину рассчитывают по линии, проходящей на расстоянии $\frac{2}{3} H_0$ от поверхности растяжения. Тогда

$$L_{\text{кр}} = \frac{\pi}{180} \gamma \left(r + \frac{H_0}{3} \right). \quad (109)$$

Внутренний радиус r меньше $0,2 H_0$ применять не рекомендуется из-за трудности получения правильного контура изгиба. В производственных условиях путем пробной гибки можно скорректировать расчетную длину заготовки. Если допуск на длину детали меньше, чем допуск на длину заготовки при отрезке, то предусматривают припуск на отрезку концов детали. При отрезке конца изделия пилой минимальный припуск может быть в пределах нескольких миллиметров (но в 1,5 раза больше, чем толщина диска пилы). При отрезке конца изделия на ножницах необходимо оставлять участки, равные 1,5—2 толщины полосы.

При гибке полосы на ребро минимальный радиус гибки

$$r_{\text{min}} \geq \frac{0,05 B_0^2}{H_0}, \quad (110)$$

где $B_0 \leq 8 H_0$ — ширина полосы, мм; H_0 — толщина полосы, мм.

Штамп наиболее простой конструкции для одноручевой гибки изделия 1 (Z-образной формы) имеет следующее устройство (рис. 330). Матрица 6 закреплена к блоку 5. Пуансон 3 закреплен болтами в блоке 2. Для определения положения заготовки перед гибкой служит упор 4, который выполнен в виде лапы, изогнутой в двух плоскостях, и фиксирует конец заготовки на некотором расстоянии от штампа (во избежание увеличения габаритных размеров штампа).

При конструировании гибочного инструмента необходимо предусмотреть отсутствие смещения заготовки относительно установленного положения. В описанном примере особенно нежелательны силы, направленные справа налево, так как они могут вызвать перемещение заготовки относительно упора. По той же причине положение заготовки в рассматриваемом случае перпендикулярно направлению движения пуансона. На практике широко используют фиксаторы, препятствующие сдвигу заготовок относительно их положения, зафиксированного упором.

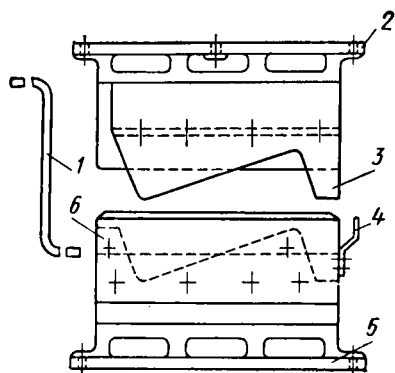


Рис. 330. Одноручевой гибочный штамп

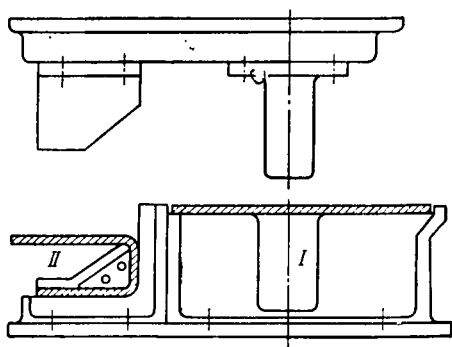


Рис. 331. Двухручевой гибочный штамп для гибки кронштейна (смежное расположение ручьев)

На рис. 331 показан двухручевой штамп для гибки кронштейна. В ручье I полосовая заготовка получает П-образную форму. Затем заготовку изгибают в ручье II, установленную в нем после поворота на 90° . Для получения правильного профиля внутри заготовки помещают вкладыш, который фиксируется направляющими колонками. После гибки изделие извлекают из штампа вместе с вкладышем и затем освобождают от него. Вкладыш нужно удалить быстро, чтобы избежать горячей посадки на него изделия при остывании металла.

Гибкой получают разнообразные сложные поковки с углами, расположенными в различных плоскостях. Многоручьевые штампы, применяемые в этих случаях, снабжены специальными фиксирующими устройствами. Гибка по замкнутому контуру может быть совершена и в одноручьевых штампах, состоящих из трех или четырех отдельных частей.

Блоки гибочных штампов часто выполняют литыми с ребрами жесткости для уменьшения их массы. Матрицы и пуансоны для упрощения изготовления следует выполнять составными. Размеры ручьев должны соответствовать чертежу поковки и быть согласованы с размерами заготовки с целью учета допусков на ее недеформированные части. Рабочие вставки гибочных штампов выполняют из штамповых сталей, а другие детали — из конструкционных сталей или из чугуна. Крупные штампы изготовляют из чугуна, легированного никелем и хромом.

Металл в горячем состоянии изгибают также на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах (см. соответствующие разделы).

Вальцовка. Ковочные вальцы относятся к группе ротационных штамповочных машин-орудий, которые характеризуются вращательным движением рабочего инструмента. В кинематическом

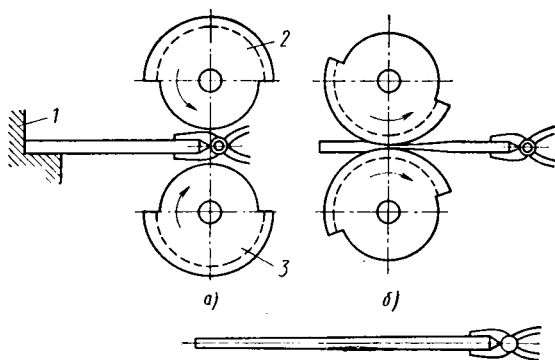


Рис. 332. Схема вальцовки:

а — нерабочее положение валцов; б — деформация заготовки

отношении кованые вальцы имеют сходство с прокатными станками для продольной прокатки, но конструкция их более проста из-за наличия чаще всего одной клетки, состоящей из двух валков. В процессе деформации в вальцах уменьшаются поперечные сечения заготовки и одновременно увеличивается ее длина. В отличие от обычной продольной прокатки при вальцовке получают изделия с неодинаковыми поперечными сечениями по длине, причем наиболее просто получить поковки с плавным изменением площади поперечных сечений. Схематически процесс вальцовки можно представить следующим образом.

На валках 2 и 3, расположенных горизонтально (рис. 332), закрепляют вставки с ручьями. Вставки охватывают часть длины окружности бочки каждого валка. В нерабочем (холостом) положении вставки с ручьями находятся на максимальном друг от друга расстоянии (рис. 332, а); при этом между валками имеется проход для заготовки, которую подают клещами до упора 1. После включения валцов на рабочий ход валки 2 и 3 начинают вращаться (направление движения указано стрелками), захватывают заготовку, обжимают ее в ручье и направляют в сторону рабочего (рис. 332, б). При многоручьевой вальцовке ручьи расположены параллельно вдоль оси валков или последовательно в двух и большем числе клетей. Если по условию технологии на каком-нибудь переходе требуется обжатие в направлении, противоположном предыдущему, то очередная клеть располагается по отношению к предыдущей под соответствующим углом, и заготовки обжимаются, продвигаясь вперед, без поворота. Так работают вальцы в автоматических линиях, причем число клетей может быть любым необходимым (на ВАЗе работает девятиклетевая линия).

Вальцы могут останавливаться (автоматически) после совершения одного или нескольких оборотов или продолжать движение до тех пор, пока не будут выключены. В промышленности применяют вальцы разнообразных размеров с валками диаметром 250—1100 мм и частотой вращения 90—30 об/мин. На крупных вальцах обрабатывают прутки диаметром до 75 мм. Мощность электродвигателя этих вальцов 66—80 МДж. Обычно вальцы снабжены сто-

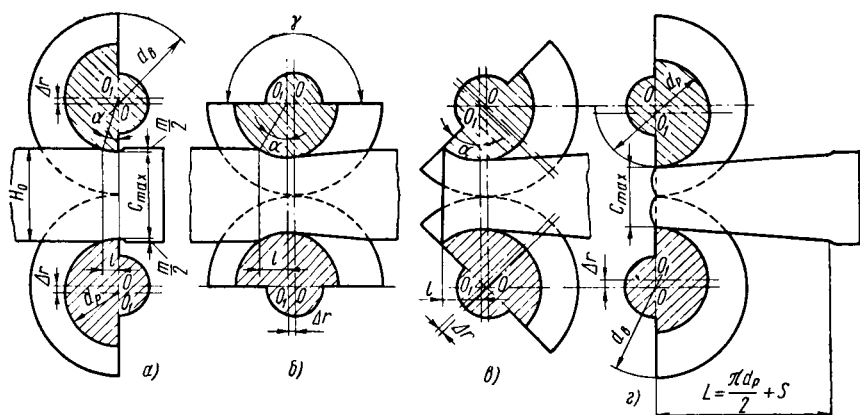


Рис. 333. Различные стадии вальцовки

лом с желобками или роликами для направления заготовки и упором. При этом заготовка имеет две опоры, определяющие ее положение в вертикальном и горизонтальном направлениях, что обеспечивает правильную фиксацию заготовки в ручьях валков. Инструмент налаживают регулированием расстояния между валками, что достигается за счет вертикального перемещения верхнего валка; расстояние между вставками валков может изменяться до 15—25 мм.

Рассмотрим схему деформации металла в вальцах, полагая, что при вращении вокруг оси O валки диаметром d_b соприкасаются между собой (рис. 333). Окружность d_p проходит по дну ручья (квадратного, круглого и другого профилей) каждого из валков, причем центр ее O_1 сдвинут относительно оси O вращения валков на величину Δr . В связи с этим глубина ручья в выходном сечении $O_1—O_1$ неодинакова на разных стадиях вальцовки.

Как видно из рис. 333, наибольшая глубина ручья наблюдается в начале перехода (в положении валков на рис. 333, а):

$$C_{\max} = 2 \left[\frac{d_b}{2} - \left(\frac{d_p}{2} - \Delta r \right) \right] = d_b - d_p + 2 \Delta r. \quad (111)$$

Наименьшая глубина ручья в конце перехода, соответствующая положению валков на схеме IV,

$$C_{\min} = 2 \left[\frac{d_b}{2} - \left(\frac{d_p}{2} + \Delta r \right) \right] = d_b - d_p - 2 \Delta r. \quad (112)$$

Если вальцуют заготовку постоянного сечения (что имеет место при первом переходе), то разность

$$C_{\max} - C_{\min} = 4 \Delta r \quad (113)$$

характеризует наибольшее высотное обжатие заготовки, которое наблюдается в конце перехода (рис. 333, *е*). Если размер заготовки по высоте сечения $H_0 > C_{\max}$, то к моменту установления выходного сечения (по линии $O_1 - O_1$) произойдет предварительное обжатие $m = H_0 - C_{\max}$ (рис. 333, *а*). Тогда общее обжатие в конце перехода составит

$$\Delta H = m + 4\Delta r.$$

Если $H_0 = C_{\max}$, то $m = 0$ и

$$\Delta H = 4\Delta r. \quad (113')$$

При $H_0 < C_{\max}$

$$\Delta H = 4\Delta r - C_{\max} + H_0.$$

Аналогично вычисляют обжатия при вальцовке заготовки переменного сечения вдоль оси (т. е. для последующих переходов) с той разницей, что вместо одинаковой во всех случаях величины H_0 в расчетах используют переменную высоту H .

По абсолютным обжатиям можно вычислить и относительные обжатия — степень деформации

$$\varepsilon_{0H} = \frac{\Delta H}{H_0} 100\%.$$

Существенное отличие вальцовки от прокатки прутков с постоянным поперечным сечением вдоль оси заключается в том, что в первом случае величины дуг и углов захвата не остаются постоянными и зависят от положения центра O_1 окружности, проходящей по дну ручья. При вращении валков вокруг оси O центр O_1 совершает круговой путь радиуса Δr , как показано на рис. 333, *а—г*. Из этих схем видно, что угол захвата α и протяженность контактного участка l возрастают по мере продвижения заготовки вдоль ручья валков. Уменьшение этих величин происходит в конечной стадии каждого перехода (рис. 333, *е*), начиная с момента, когда задний обрез ручья находится под максимальным углом α захвата.

Следует иметь в виду, что начальные условия захвата прутка аналогичны таким же условиям при прокатке, если $H_0 \leq C_{\max}$. При $H_0 > C_{\max}$ происходит предварительное обжатие на величину m , причем образующиеся выступы (рис. 333, *а*) воспринимают от валков горизонтальные силы, которые складываются с силами трения и продвигают пруток вдоль ручья.

При прокатке

$$l = \sqrt{r_b \Delta H}, \quad (114)$$

где r_b — радиус валка.

При вальцовке можно воспользоваться этим же выражением в следующей интерпретации:

$$l = \sqrt{\frac{d_p}{2} \Delta H} = 0,7 \sqrt{d_p \Delta H}. \quad (114')$$

Как следует из приведенного выражения, протяженность контактного участка возрастает с увеличением диаметра окружности, проходящей по дну ручья, и величины обжатия, которая при вальцовке является переменной. Это выражение недействительно для последней стадии вальцовки (рис. 333, *з*), когда контактный участок сокращается до нуля. Угол захвата может быть получен из уравнения

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta H}{d_p}. \quad (115)$$

Следует иметь в виду, что длина вальцованной заготовки больше длины ручья на величину опережения S в мм:

$$L = \frac{\pi d_p}{2} + S. \quad (116)$$

Относительная величина опережения при вальцовке изменяется в значительных пределах и составляет на каждом переходе 2—12% от конечной длины заготовки.

Давление течения металла при вальцовке определяют как произведение контактной площади F на среднюю ординату эпюры распределения удельного усилия $p_{ср}$ по дуге l захвата:

$$P = p_{ср} F = \frac{F}{l} \int_0^l p_x dx. \quad (117)$$

Многоручьевую вальцовку осуществляют за 8—10 переходов. При безостановочном вращении валков время t , в течение которого должны установить заготовку в каждом ручье, прямо пропорционально углу γ холостого поворота валков и обратно пропорционально числу оборотов n валцов. В самом деле

$$t = \frac{M}{W}, \quad (118)$$

где $M = \frac{\pi r_n \gamma}{180}$ — длина дуги, соответствующая углу γ ; $W = \frac{2\pi r_n n}{60}$ — окружная скорость валков радиуса r_n в секунду. После подстановки этих величин в формулу (118) получаем

$$t = \frac{\gamma}{6n}. \quad (119)$$

Если ручьевые вставки занимают половину окружности ($\gamma = 180^\circ$), то при $n = 30$ получаем $t = 1$ с. Для крупных валцов, на которых обрабатывают прутки диаметром 60 мм, длиной $\pi r_n = 3,14 \cdot 425 \approx 1300$ мм, время установки заготовки в ручей со-

ставляет десятые доли секунды и зависит от продолжительности поворота валков на угол γ . Так, при $\gamma = 90^\circ$

$$t = \frac{90}{6 \cdot 30} = 0,5 \text{ с};$$

длина изделия в этом случае может достигнуть более 2 м.

Вальцы чаще используют в общем агрегате с кривошипными прессами. Как известно, кривошипные горячештамповочные прессы непригодны для некоторых фасонировочных операций, поэтому их осуществляют на вальцах. Так получают заготовки для шатунов (вальцуют стелевую часть шатуна), поворотных кулаков и т. п. Для фасонирования заготовок наиболее удобны вальцы консольного типа, отличающиеся от других, в частности, тем, что каждый валок имеет одну цапфу. Частота вращения таких вальцов 100—110 об/мин. Небольшие габаритные размеры консольных вальцов и большая скорость вращения валков обеспечивают вальцовку заготовок и штамповку на прессе за один нагрев, что сокращает расход топлива и угар металла. Угол обхвата валков вставками у этих вальцов достигает 270° , но диаметр валков меньше, чем у двухопорных вальцов. Для установки заготовок в ручьи нужно, чтобы валки после каждого быстро совершаемого оборота автоматически останавливались.

При разработке технологического процесса вальцовки исходят из допустимых величин коэффициентов деформации $\lambda = \frac{F_1}{F_2}$ (F_1 и F_2 — площади поперечных сечений заготовки до и после очередной вальцовки). На практике коэффициент $\lambda \leq 1,45$. Средние значения этого коэффициента $\lambda_{\text{ср}} = 1,2 \div 1,3$.

Коэффициенты деформации большей величины можно получить при изменении профиля в каждом последующем ручье; например, при переходе от полосы к кругу $\lambda = 2,0$.

Использование допустимых вытяжек при вальцовке обеспечивает деформацию металла без образования заусенца, который при вальцовке с кантовкой на 90° приводит к образованию в следующем ручье складок. В общем случае для получения сечения F_n после вальцовки из заготовки сечением $F_{\text{заг}}$ необходимо n пере-
ходов.

После первой вальцовки сечение

$$F_1 = \frac{F_{\text{заг}}}{\lambda};$$

после второй вальцовки

$$F_2 = \frac{F_1}{\lambda} = \frac{F_{\text{заг}}}{\lambda^2};$$

после n вальцовок

$$F_n = \frac{F_{\text{заг}}}{\lambda^n}.$$

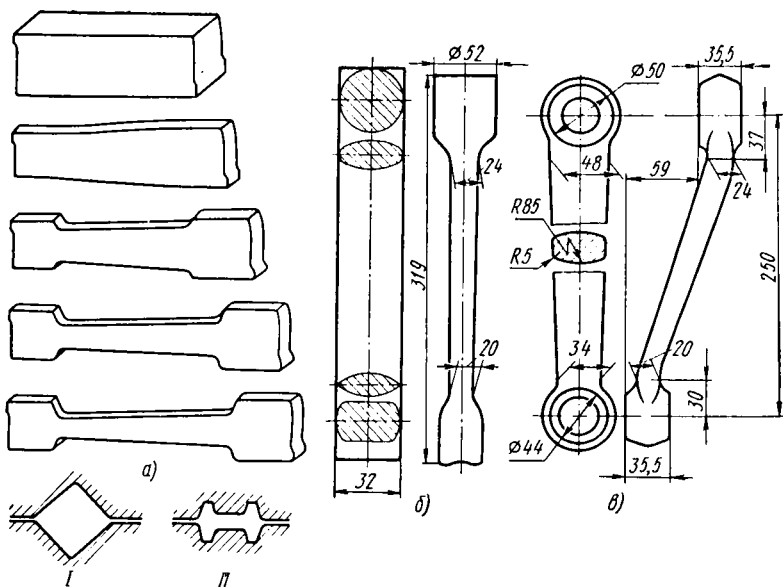


Рис. 334. Вальцованные фасонные заготовки:

I — сечение ручья при вальцовке по диагонали; II — то же, вдоль стороны

При логарифмировании этого выражения и решении его относительно величины n получим

$$n = \frac{\ln F_{\text{заг}} - \ln F_n}{\ln \lambda_{\text{ср}}} = \frac{\ln \lambda_{\text{общ}}}{\ln \lambda_{\text{ср}}} = \frac{V_{\text{см. общ}}}{V_{\text{см. ср}}}. \quad (120)$$

Это означает, что число переходов n при вальцовке равно отношению общего смешанного объема $V_{\text{см. общ}}$ к среднему смещаемому объему $V_{\text{см. ср}}$ за переход.

Если вальцуют поковки с равномерно изменяющимися поперечными сечениями вдоль оси (без бобышек или шеек), то при $\lambda < 1,45$ они могут быть получены в одном ручье. Вначале обжимают часть заготовки в наиболее глубоком участке ручья; затем, по мере утонения конца заготовки, ее можно подавать на все большую часть ручья и, наконец, так, чтобы в конце очередной вальцовки заполнить весь ручей.

В качестве примера вальцовки фасонной заготовки рассмотрим схему переходов при протяжке стебля поковки шатуна (рис. 334, а). Если сечение стебля имеет форму квадрата, то вальцуют по диагонали квадратной заготовки. Если же стебель шатуна штампуют с ребрами жесткости, то они могут быть предварительно отформованы при вальцовке. Во избежание искривления поковки при вальцовке следует стремиться к тому, чтобы разъем штампов проходил по плоскости симметрии поковки.

Основные параметры вальцов для заданного изделия определяют на основании следующих расчетов. Если принять, что ручьевые вставки занимают половину окружности валков, то

$$\frac{\pi d_{\text{в}}}{2} \geq L_{\text{к}}, \text{ откуда } d_{\text{в}} \approx 0,65 L_{\text{к}}, \quad (121)$$

где $L_{\text{к}}$ — длина поковки, подлежащей вальцовке.

После расчета необходимого числа ручьев для вальцовки данной поковки и установления расстояния между соседними ручьями (например, исходя из прочности стенок ручья) определяют минимальную длину бочек валков. Эти данные позволяют выбрать по каталогу требуемый типоразмер вальцов. Профиль поперечного сечения каждого ручья выбирают с учетом того, чтобы металл не вытекал за его пределы. Это обеспечивается выбором соответствующего коэффициента деформации и ширины ручья с учетом уширения, которое принимают равным 30—50% от величины высотного обжатия в данном ручье (меньшее значение уширения соответствует верхнему пределу температуры вальцовки). Длину ручья принимают меньше длины поковки на величину опережения, относительная величина которого составляет 2—12% от вальцованной длины. Радиусы внутренних углов ручья должны составлять примерно 50% от высотного обжатия, а наружные радиусы — 20—30% от той же величины. Уклоны стенок полости составляют 3—6° в зависимости от глубины ручья.

На консольных вальцах заготовки можно фасонировать за один проход. Этот способ фасонирования высокопроизводителен. Вальцы могут работать в общем агрегате с молотом или прессом, обеспечивая вальцовку и штамповку с одного нагрева заготовок. Если заготовка должна иметь значительную разницу в соседних поперечных сечениях и при этом необходимы большие коэффициенты деформации (до 2,5—3), то за один переход фасонирование возможно лишь при образовании заусенца между валками. При штамповке в открытых штампах вальцовка заготовок с заусенцем приемлема, так как последний уменьшает опережение при вальцовке и может быть полезен при последующей штамповке заготовок в чистовом ручье молота или прессы. Наличие заусенца не позволяет применять кантовку при переносе заготовки из ручья вальцов в ручьи штампа молота или прессы. Это несколько ограничивает технологические возможности процесса. На рис. 334, б приведена фасонная заготовка для поковки сошки руля автомобиля (рис. 334, в), которую вальцуют за один переход без образования заусенца. На рис. 335 дано сечение по валку.

На отечественных заводах работают также двух-, трех- и многоклетьевые вальцы по способу «на проход» без кантовки возвратного движения заготовки, как в случае многопереходной вальцовки в простейших одноклетьевых вальцах. Девятиклетьевые вальцы Волжского автозавода работают в автоматическом режиме на подготовке заготовки полуосей перед высадкой фланца на гори-

зонально-ковочной машине. Для обеспечения высокой точности штамповки применяют катаный пруток, обработанный резцом. Заготовки нагревают в автоматизированном индукционном нагревателе, поднятом над уровнем пола на высоту более 2 м. Бункерная загрузка и автоматизированная подача заготовок к вальцам при последующей передаче на транспортер обеспечивают на этих быстроходных вальцах (частота вращения валиков 90 об/мин)

высокую производительность (до 270 шт/ч). Для высадки фланца фасонированную заготовку нагревают вновь.

При большом числе переходов вальцовки заготовка остывает и ее можно штамповать лишь после второго нагрева (подогрева), что теперь осложнено формой заготовки. Интенсификация процесса вальцовки возможна за счет комбинирования ее с выдавливанием (рис. 336). Валки монтируют на кривошипном вертикальном прессе, от которого они и получают привод (от ползуна пресса). Стадии сложной фасонировки видны на приведенной схеме. Однопроходная вальцовка с выдавливанием позволяет окончательно штамповать на рядом стоящем штамповочном оборудовании.

Штамповка в вальцах. В промышленности успешно применяют вальцовку поковок от прутка с образованием заусенца. Сущность рассматриваемого процесса состоит в том, что применяют обычный метод штамповки (как бы в открытых штампах), но ручки расположены на поверхностях вращающихся валков. В этом случае заполняют полости разнообразных форм, которые неоднократно повторяются в общем ручье. Выходящие из вальцов отштампованные от прутка одинаковые поковки соединены между собой общим заусенцем. Разделение их происходит при обрезке заусенца. Наиболее технологичными для штамповки в вальцах являются поковки, не имеющие высоких ребер, выступов или отростков. Чем

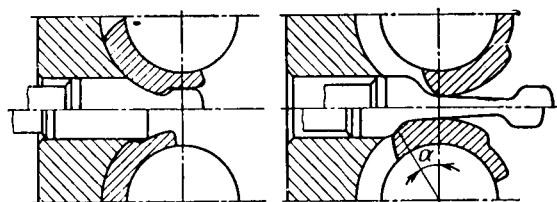
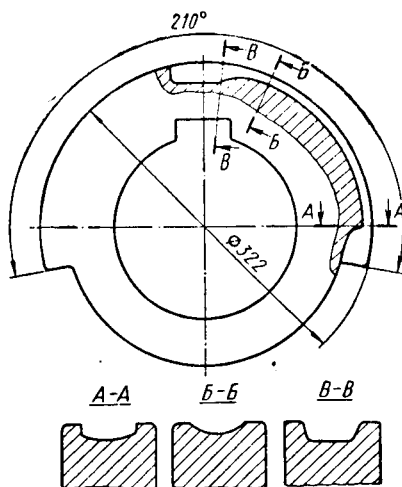


Рис. 336. Стадии комбинированной вальцовки — выдавливания заготовок для поковки шатуна (по В. Н. Журавлеву)

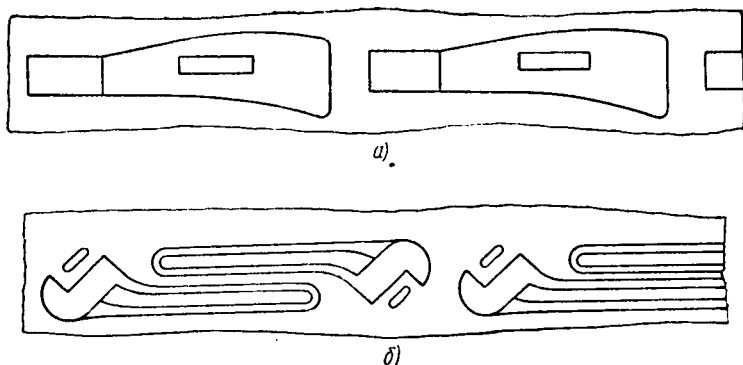


Рис. 337. Примеры многорукавной вальцовки с образованием общего заусенца

меньше разница размеров соседних поперечных сечений поковок, тем вероятнее возможность штамповки их в вальцах. При групповой вальцовке поковок возможно получить ручей с плавным очертанием за счет сочетания одинаковых или разных поковок. Штамповка в вальцах значительно увеличивает производительность (в 5—10 раз) и снижает себестоимость поковок.

На Ростсельмаше была освоена штамповка в вальцах штифтов молотилки комбайна (рис. 337, а). Внедрение этого процесса взамен штамповки на молотах увеличило в 5 раз производительность и на 30 % снизило себестоимость поковок. Штампы для вальцов состоят из нескольких вставок (по 20 шт. на каждом валке), охватывающих всю окружность валков и закрепляемых болтами, шпонками и боковыми накладками. Подгонка и сборка вставок — наиболее сложные операции наладки процесса. Для удаления из ручьев окалины с валков подсоединены круглые стальные щетки с индивидуальным электродвигателем. Инструмент снабжен регулируемым воздушно-водяным охлаждением. Температура вальцовки 1000—1200° С. Нагретые прутки подают специальным устройством, которое сбивает с них окалину и обеспечивает правильную фиксацию прутков в ручье. Стойкость штамповых вставок ниже стойкости цельноблочных молотовых штампов.

Опыт штамповки в вальцах штифтов для комбайна показал, что для лучшего заполнения ручья необходимы сравнительно низкая температура металла (950—1000° С) и высокие окружные скорости вальцовки (0,85 м/с).

Для достижения большей технологичности и производительности при штамповке в вальцах используют различные варианты совмещения нескольких поковок, например, валетом при штамповке корпуса разводного ключа (рис. 337, б). Освоена штамповка в вальцах звеньев цепей, стамесок, ножниц, цельносталей ножей, различного медицинского инструмента и др.

При штамповке в вальцах особое значение приобретает опережение, в результате которого длина поковки получается больше, чем длина соответствующего ручья. Исследование опережения при штамповке в вальцах показало, что в разных местах поковки вдоль ее оси опережение неодинаково и может изменяться в 2—5 раз. Объясняется это тем, что при заполнении сложной полости величина смещаемых объемов на отдельных участках неодинакова. С увеличением смещаемого объема увеличивается разность между скоростью продвижения заготовки и окружной скоростью валков, что приводит к возрастанию опережения.

Установлены необходимые размеры заусенцев для успешной штамповки в вальцах. Его ширина увеличивается с увеличением смещенного объема и при понижении температуры штамповки пропорционально коэффициенту вытяжки и обратно пропорционально высоте исходной заготовки.

При повышении температуры штамповки на 100°C ширина заусенца уменьшается на 20—30%, но увеличивается опережение. По данным В. Н. Мартынова, при уменьшении окружной скорости валков (в пределах 0,7—0,15 м/с) в очаге деформации металл охлаждается и незначительно уменьшается опережение.

Смазка ручьев увеличивает опережение и отрицательно сказывается на заполнении их металлом, особенно если размеры смежных поперечных сечений поковки резко изменяются. Поскольку смазка оказывает решающее влияние на стойкость штампов, этот вопрос требует специального исследования в заводских условиях.

Раскатка. В промышленности весьма эффективно применение горячей раскатки колец и бандажей, имеющих форму тел вращения. Принцип раскатки заключается в деформации металла между вращающимися валками-роликами, причем обрабатываемая заготовка также получает вращательное движение в той же плоскости, что и ролики. Существуют две разновидности процесса раскатки — открытая и закрытая (рис. 338).

Открытая раскатка (рис. 338, а) заключается в том, что предварительно штампованную поковку (например, кольцо 3 толщиной δ) деформируют между обжимным и опорным роликами 1 и 2 при их вращательном движении. Этот процесс аналогичен прокатке заготовки, у которой оба конца соединены между собой. По мере

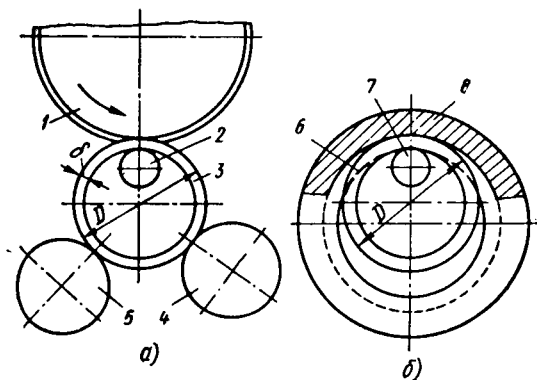


Рис. 338. Схемы открытой (а) и закрытой (б) раскатки колец

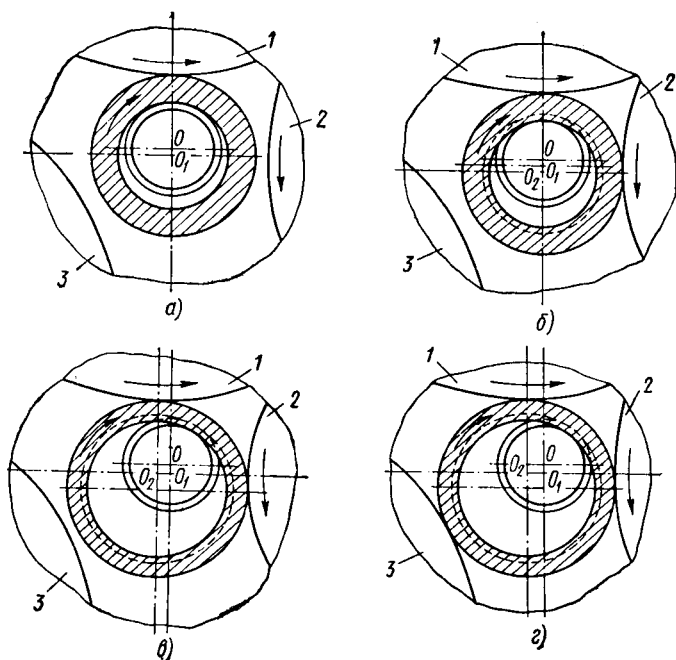


Рис. 339. Стадии раскатки колец

опускания обжимного ролика 1 непрерывно утоняется кольцо при одновременном увеличении его диаметра. Ролики 4 и 5 сигнализируют об окончании процесса раскатки в тот момент, когда окружность прокатываемого кольца одновременно касается всех четырех роликов.

З а к р ы т а я р а с к а т к а (рис. 338, б) состоит в том, что раскатываемое кольцо 6 надевают на опорный ролик 7 и обжимают роликом 8. Открытая раскатка получила большее применение в промышленности, так как ее проще осуществить. Удаление же готовых изделий при закрытой раскатке более сложно.

Раскатка не является самостоятельным процессом обработки металлов давлением, так как заготовки для раскатки обычно получают высадкой, штамповкой, ковкой (для крупных колец) или отливкой.

Преимущества раскатки заключаются в возможности уменьшения напусков, экономии металла, сокращении объема механической обработки (за счет уменьшения припусков и напусков) и применения малогабаритных заготовок. Последнее обстоятельство особенно важно в тех случаях, когда раскатывают тонкостенные и крупногабаритные изделия, штамповка которых требует приложения больших усилий. Раскатка начинается с момента, когда заготовка входит в соприкосновение с приводным обжим-

ным роликом 1 (рис. 339, а). Так как кольцо-заготовку надевают на опорный ролик свободно, то центр окружности этого ролика O не совпадает с центром окружности кольца O_1 . По мере увеличения диаметра кольца центр его окружности непрерывно перемещается, и в момент соприкосновения кольца с направляющим роликом 2 он окажется в точке O_2 (рис. 339, б). Дальнейшая раскатка связана с отклонением центра окружности кольца влево (рис. 339, в), что продолжается до его соприкосновения с сигнальным роликом 3 (рис. 339, г) в конце раскатки.

Когда обжимной ролик 1 отходит в исходное положение, кольцо можно свободно снять с опорного ролика. Для того чтобы между кольцом и инструментом не было проскальзывания, окружные скорости кольца и роликов в месте контакта должны быть одинаковыми.

Так как диаметр кольца в процессе раскатки увеличивается, то при определенной частоте вращения обжимного ролика скорость вращения кольца должна уменьшаться. Переменной должна быть и частота вращения опорного ролика, что достигается свободным его вращением на своей оси. На некоторых раскаточных машинах (например, для раскатки ватерных колец) опорный ролик имеет также принудительное вращение. В этом случае диаметры роликов подбирают исходя из того, чтобы окружные скорости по средней линии кольца были примерно равными.

При прокатке валками различного диаметра прутки изгибаются в сторону вала меньшего диаметра. При раскатке колец это явление способствует получению колец правильной формы. Очень важно, чтобы выходная часть кольца своевременно встречала направляющий ролик во избежание появления так называемой «утки» (рис. 340, а). Этот вид брака получается, если угол β значительно больше 90° . Взаимное расположение роликов проверяют путем установки контрольной поковки с размерами в пределах допусков. При раскатке колец встречается вид брака, называемый козырьком (κ на рис. 340, б) и наблюдаемый при раскатке колец, толщина которых больше высоты. Практически установлено, что этот брак появляется чаще при низкой температуре

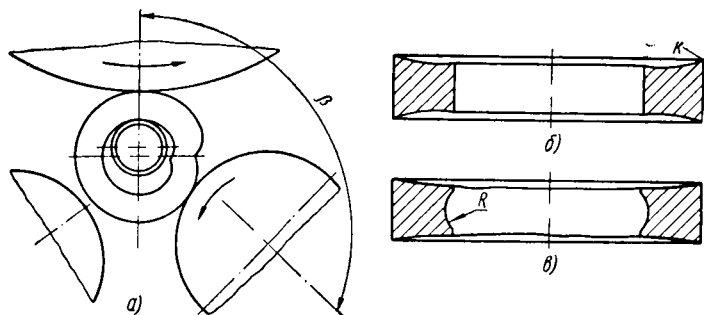


Рис. 340. Дефекты при раскатке колец

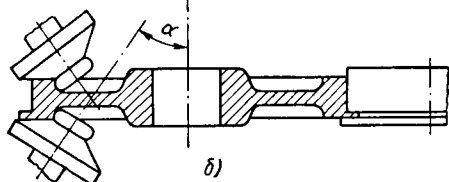
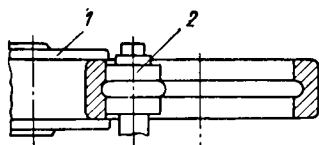


Рис. 341. Инструмент и профили раскатанных изделий:

1 — обжимной и 2 — опорный ролик

раскатки, при большом диаметре опорного ролика и при малой мощности раскаточной машины. Обычно козырьки больше со стороны обжимного ролика, чем со стороны опорного. Это можно объяснить неодинаковой поперечной деформацией с внутренней и наружной сторон кольца. Площадь контакта обжимного ролика с наружной поверхностью кольца больше, чем с внутренней поверхностью кольца с опорным роликом. Это обстоятельство может способствовать большей поперечной деформации по наружной поверхности раскатки. При раскатке колец с малым обжатием часто наблюдается утяжка торцов колец (рис. 340, в). Этот вид брака встречается у колец с профилированием по внутренней поверхности (рис. 341, а). Нормальное обжатие (по данным подшипниковых заводов) характеризуется коэффициентом деформации

$$\eta = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\delta_0 B}{\delta_1 B} = \frac{\delta_0}{\delta_1} = 1,2 \div 1,5, \quad (122)$$

где F_0 и F_1 — начальное и конечное сечения кольца; δ_0 и δ_1 — начальная и конечная толщина кольца; B — ширина кольца.

При раскатке ватерных колец, по данным П. В. Камнева, оптимальной считают величину $\eta = 1,4 \div 1,8$. Однако в некоторых случаях раскатывать можно при коэффициенте деформации до $\eta = 2,4$.

Высота колец в процессе закрытой раскатки остается неизменной, так как она ограничивается ребрами обжимного ролика (рис. 341, а). При раскатке на крупных раскаточных станках бандажей и железнодорожных колес (рис. 341, б) профиль сечения получается в результате обжатия обычными и наклонными роликами (угол наклона их оси α).

Раскатка при высоких температурах уменьшает энергозатраты, однако это сопряжено с более интенсивным окислением и обезуглероживанием стали. Подшипниковые кольца перед раскаткой нагревают в индукционных электронагревателях до 1000°C . Ватерные кольца, бандаж и колеса раскатывают при температуре $1100\text{—}1200^\circ \text{C}$. Подача кольцеобразных заготовок может быть легко механизирована и автоматизирована. Достижимая точность размеров при раскатке $\pm 0,4$ мм. Нагрев металла в газовых печах приводит к обезуглероживанию на глубину $0,4\text{—}0,8$ мм, поэтому

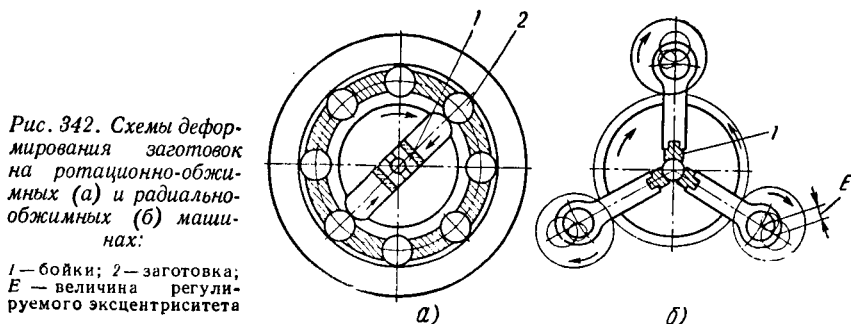
припуски на обработку должны быть даны с учетом последующего удаления относительно большого слоя металла. При электроннагреве обезуглероживание стали меньше.

Ротационная и радиальная ковка. Этот процесс представляет собой обжатие сечения заготовок для получения цилиндрических, конических и ступенчатых переходов. Ротационному обжатию подвергают прутковые и трубчатые заготовки. Деформация может быть сосредоточена на конце прутка либо осуществляться на некотором расстоянии от него в одном или в нескольких местах. Ротационной ковкой можно полностью или частично заковать концы трубчатых заготовок, а также соединить стержни с трубами. Применяют холодную и горячую ротационную ковку.

Ротационное обжатие по схеме процесса относится к ковке, однако, так как этот процесс применяют взамен штамповки или для последующей штамповки обычно в штамповочных цехах, то его рассматривают в данной главе. В качестве оборудования для ротационнойковки применяют два типа машин, подразделяемых (по классификации Ю. С. Радюченко) на ротационно-обжимные для поковок небольших сечений и радиально-обжимные для изготовления поковок относительно крупных сечений (рис. 342).

Ротационно-обжимные машины простейшей конструкции имеют два бойка, движущихся навстречу друг другу (рис. 342, а). Эти движения осуществляются по-разному в зависимости от типа машины. Толчки бойков 1 в радиальном направлении обжимаемой заготовки происходят за счет встречи бойков с роликами 2, расположенными по внутреннему периметру барабана.

По одной из схем бойки 1 размещают во вращающемся шпинделе при неподвижной обойме с роликами 2. По другой схеме, напротив, шпиндель неподвижен, а вращается обойма с роликами. По третьей схеме происходит противоположное вращение шпинделя с бойками и обоймы с роликами. Чаще всего эти машины горизонтального типа. Современные радиально-обжимные машины вертикального типа имеют кривошипно-эксцентриковое устройство привода бойков, которое схематично показано и понятно из рис. 342, б (E — эксцентриситет привода бойка). Эти машины характеризуются меньшим шумом при работе. Вследствие



1 — бойки; 2 — заготовка;
 E — величина регулируемого эксцентриситета

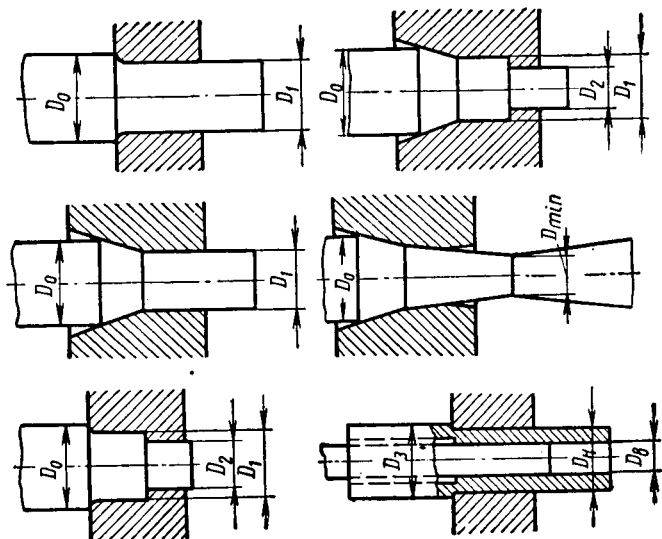
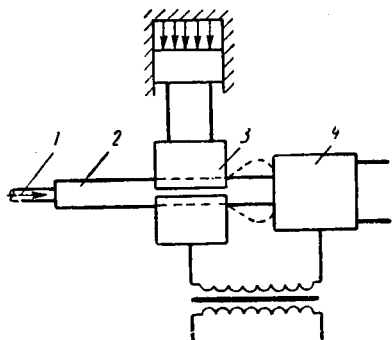


Рис. 343. Конфигурация поковок, получаемых в обжимных машинах

только возвратно-поступательного движения бойков от эксцентриковых приводов (на рис. 342, б их три) заготовка не получает вращательного движения. В зависимости от способа передачи движения бойкам различают шатунные, рычажные и роликовые радиально-обжимные машины. Если длина заготовок, обрабатываемых на горизонтальных ротационных машинах, не ограничена, то на вертикальных ротационных машинах обрабатывают заготовки длиной не более 1000 мм. Величина получаемых обжатий 1,4—1,7 при прямом переходе с круга на круг и 1,5—2,0 при коническом переходе. Число обжатий для различных машин колеблется от нескольких сот до нескольких тысяч в минуту. На этих машинах обжимают прутки диаметром 3—300 мм.



Характерные переходы и инструмент приведены на рис. 343. Современные мощные радиально-рольковые машины вертикального типа с гидравлической подачей заготовки имеют усилия до 2 МН. На таких машинах изготавливают ступенчатые валы, шпиндели и полые поковки с внутренним про-

Рис. 344. Схема электрошлаковой установки

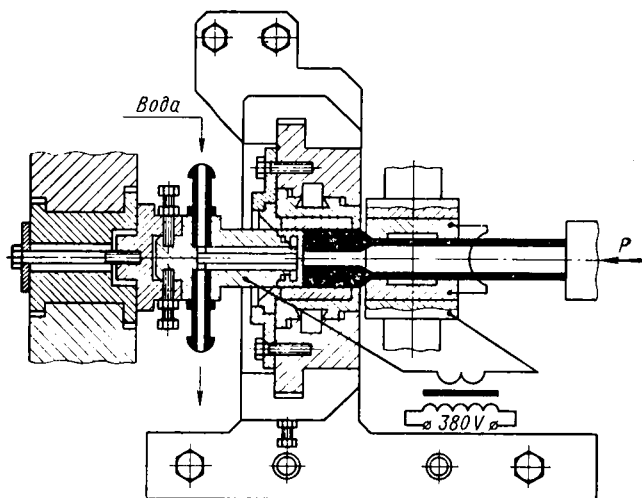


Рис. 345. Электровысадка трубной заготовки (ЭНИКМАШ)

филированием по сложному контуру. Бойки изготавливают из высококачественной штамповой стали с RC до 61—63.

Электровысадка. Для значительного непрерывного местного набора металла на конце или в середине длинного прутка применяют электровысадку (рис. 344). Пруток 2, зажатый клеммами 3, действующий от гидравлического цилиндра, вводится в цепь электротока. Второй контакт создается при нажатии на пруток штока 1 на другом конце, упирающемся в стопор 4. Конiec прутка между клеммами 3 и стопором 4 разогревается электроконтактным методом нагрева металла.

По мере продвижения прутка его разогретый конец высаживается в головку, величина которой технологически не ограничена, что и отличает электровысадочную машину от горизонтально-ковочной машины. Эту специализированную машину применяют в тех случаях, когда поковки не могут быть получены выдавливанием (из-за отсутствия мощного прессы) или высадкой на горизонтально-ковочной машине.

Из опыта Горьковского автомобильного завода по электровысадке расстояние l между клеммами 3 и стопором 4 (см. рис. 344) рекомендуется принимать $(3—3,5) D_0$. Оптимальное осевое давление на пруток можно принимать равным 98 МН/м^2 . Скорость движения штока 1 составляет $2—4 \text{ мм/с}$. Силовой трансформатор электровысадочной машины рекомендуется использовать с возможно большим числом ступеней регулирования напряжения (для прутков диаметром до 25 мм число ступеней регулирования 15—20). Электровысадочные машины питаются от сети переменного тока напряжением 220 или 380 В.

Наиболее распространены горизонтальные электровысадочные машины, но известны и вертикальные модели этих машин.

На рис. 345 представлена схема электровысадки трубной заготовки с одновременным утолщением по наружному диаметру и с уменьшением диаметра отверстия трубы. Инструмент охлаждают водой.

Электровысадочные машины используют на ряде отечественных заводов, в том числе и на Волжском автомобильном заводе, где эти машины работают в автоматическом режиме с производительностью 180 шт./ч фасонных заготовок с последующей штамповкой на винтовых фрикционных прессах.

5. Особенности технологии автоматизированной объемной штамповки

До недавнего времени применяли преимущественно холодно-высадочные автоматы. По мере совершенствования средств для быстрого и малоокислительного нагрева заготовок и использования нагревателей (например, индукционных), вмонтированных непосредственно в автоматизированные установки для штамповки, эти агрегатированные автоматы получают все большее распространение в массовом производстве поковок. Разработка автоматов для горячей и полугорячей штамповки началась с освоения трехпозиционных болтовых машин. Впоследствии подобные автоматы получили распространение при штамповке поковок колец подшипников качения, шестерен, фланцев и ряда других, получаемых продольной штамповкой. На этих автоматах можно применять резку, высадку, выдавливание, редуцирование и некоторые другие процессы, осуществляемые на трех-, четырех-, пяти- и даже шестипозиционных автоматах.

Включение в технологический процесс автоматизированной штамповки нагрева заготовок обязывает штамповать непрерывно, продолжительно и ритмично, что не обязательно при холодной штамповке. Важным требованием к технологии горячей автоматизированной штамповки является минимально возможная продолжительность контакта нагретой заготовки с инструментом, что обеспечивает его высокую стойкость и производительность работы, но лимитирует условия нагрева металла. Заготовки небольших сечений быстро остывают, поэтому на автоматах горячей штамповки, как правило, подвергают относительно крупные поковки. Наименьший диаметр исходных заготовок при горячей штамповке на автоматах 25 мм и наибольший — 125 мм. Производительность работы, по данным И. Д. Трофимова, соответственно 90—40 шт./мин.

Нагрев стали различных марок до температуры штамповки (1100—1250° С) снижает сопротивление деформаций в 15—20 раз, что и позволяет на небольших автоматах штамповать относительно крупногабаритные поковки.

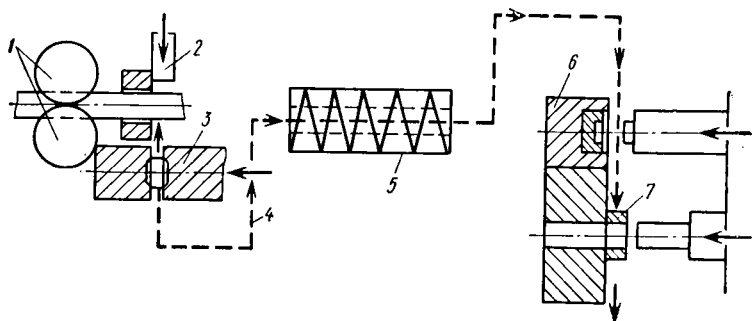


Рис. 346. Схема автоматизированной штамповки гаек комбинированным способом на двух автоматах с промежуточным нагревом заготовок (по И. Д. Трофимову)

Для современных автоматов характерна блочная компоновка инструмента, что обеспечивает кратковременность и сложность переналадки или замены изношенного инструмента, которые сводятся к простой перестановке блоков, закрепляемых быстроустанавливаемыми безрезьбовыми зажимными устройствами. Наряду с автоматами отечественного производства на заводах СССР работают автоматизированные иностранные горячештамповочные установки «Пельтцер», «Хатебур», «Вагнер» и др.

Кроме горячей и полугорячей штамповки на автоматах применяют комбинированную холодную и горячую или холодную и полугорячую штамповку, преимущества которой состоят в следующем. Холодная резка заготовок обеспечивает более точную дозировку, правильную форму и высокое качество среза мерных заготовок, чем горячая резка. Еще одно преимущество такого процесса состоит в возможности нагрева только той части мерной заготовки, которая подвергается деформации (высадке), что особенно важно для стержневых поковок. На рис. 346 приведена схема автоматизированной штамповки гаек комбинированным способом. Холодную прутковую заготовку подают валковой подачей 1 в одноударный автомат, в котором заготовку обрезают ножом 2 и передают к штампу 3 для осадки с образованием фасок будущей гайки. Затем заготовку транспортирующим устройством 4 подают к индуктору 5. После нагрева заготовка поступает на другой автомат, где вначале подвергается обратному выдавливанию в штампе 6, а затем — прошивке отверстия 7.

Автоматы и автоматические линии для горячей штамповки работают на многих отечественных заводах: автомобильных, подшипниковых, запасных частей тракторов и автомобилей, сельхозмашиностроения и т. д. Вступила в строй крупная автоматическая линия для горячей штамповки Ульяновского автомобильного завода производительностью 70 поковок в минуту; она заменила 10 горизонтально-ковочных машин.

ОТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

1. Правка поковок

Штампованные поковки перед отправкой на склад готовой продукции или в механический цех проходят отделочные операции: правку, термическую обработку, очистку от окалины и калибровку. Кованые поковки обычно не подвергают другим отделочным операциям, кроме механической и термической обработки.

Применение отделочных операций приводит к улучшению поверхности и структуры поковок, а также к повышению точности их размеров.

Правкой устраняют искривления поковок, полученные при следующих обстоятельствах.

1. При штамповке вследствие застревания и последующего принудительного извлечения поковок из ручья; при штамповке только какой-нибудь части поковки; при отрубке ножом и при транспортировании поковок.

2. При обрезке вследствие неудовлетворительной подгонки штампов и по другим причинам, описанным в гл. VI.

3. При термической обработке в результате коробления (вследствие остаточных напряжений, возникающих при неравномерной деформации в процессе штамповки).

4. После дополнительной технологической операции, например при гибке вследствие упругого частичного восстановления формы.

5. При быстром остывании заусенца у изогнутых поковок (усадка металла со стороны внутреннего угла приводит к искривлению поковок).

Величину искривления поковок устанавливают на разметочной плите или с помощью специального контрольного приспособления. Искривление считается допустимым, если искажение формы не превышает допусков на размеры. В большей степени искривлению подвержены поковки значительной длины, с тонкими ребрами, с резкой разницей в размерах смежных поперечных сечений. В зависимости от причин, вызывающих искривление, поковки

можно править в горячем состоянии после обрезки заусенца или в холодном состоянии после термической обработки.

Горячую правку поковок выполняют после обрезки заусенцев и удаления перемычек. В этом случае править можно в окончательном ручье основного штампа, но это сопряжено с увеличением нормы времени на штамповку. Более рациональна правка на обрезном прессе (если этот пресс рассчитан для подобных операций). Править можно и на дополнительном правочном оборудовании (молоте или прессе), но это удорожает процесс, а при горячей правке делает штамповочный агрегат громоздким. Горячая правка оказывает лучшее влияние на структуру и механические свойства стали, чем холодная.

Холодную правку применяют главным образом для поковок, получающих искривления при термической обработке. Для этого вида правки используют дешевые и простые в эксплуатации фрикционные молоты (с доской), устанавливаемые батарейным способом в термическом отделении цеха. Форма полости ручьев правочных штампов совпадает с формой полости окончательных ручьев. В отличие от окончательного ручья основного штампа правочный ручей может иметь полость, не ограниченную с торцов длинноосной поковки, для удобства закладки и удаления поковок. Править поковки при необходимости можно последовательно в двух перпендикулярных плоскостях. Для увеличения производительности холодную правку небольших поковок проводят попарно или в многоручьевом штампе (многоштучная правка).

2. Термическая обработка поковок

Типичными операциями первичной термической обработки поковок являются отжиг и нормализация (рис. 347).

Отжиг поковок. Эта термическая операция состоит в нагреве выдержкой и охлаждением в печи. Отжигом достигают перекристаллизацию стали для получения ее равновесного состояния, для улучшения пластичности и вязкости, понижения твердости, уничтожения остаточных напряжений и измельчения зерна, если оно увеличено в результате длительного пребывания стали при высокой температуре.

Получил распространение также изотермический отжиг,

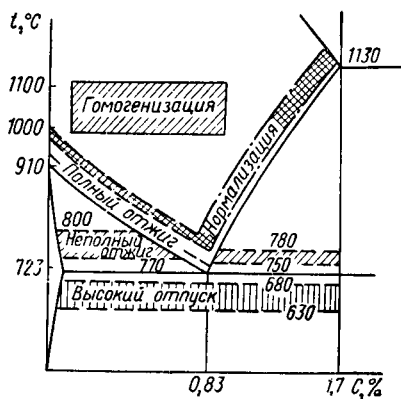


Рис. 347. Температурные области первичной термической обработки стальных поковок с различным содержанием углерода (по А. И. Тарусину)

который улучшает структуру металла и снимает напряжения, а также облегчает механическую обработку поковок. По опыту Волжского автомобильного завода изотермический отжиг проводят в агрегатах, состоящих из двух печей, в одной из которых происходит нагрев ($t^{\circ} = 950^{\circ} \text{C}$), а в другой изотермические выдержки поковок ($t^{\circ} = 700^{\circ} \text{C}$). Между печами размещена камера принудительного охлаждения поковок (до $t^{\circ} = 600 \div 700^{\circ} \text{C}$). Агрегат непрерывного действия толкательного типа работает в автоматическом режиме. На одном из отечественных заводов работают спаренные отжигательные печи. Производительность современных отжигательных печей достигает 50 т в сутки.

Нормализация поковок. Нормализация заключается в нагреве металла до температуры выше температуры критических точек с последующим после выдержки охлаждением на воздухе. Нормализация – более простая термическая обработка, чем отжиг, и заменяет его в случае применения низко- и среднеуглеродистых сталей (до 0,4% С). Стали с большим содержанием углерода при нормализации не получают тех же свойств, что при отжиге. Если есть опасность образования полосчатой структуры (при низкой температуре окончанияковки, штамповки) или крупнозернистости стали (при высокой температуре окончанияковки, штамповки), следует применять полный отжиг. В противном случае достаточно применения неполного отжига.

Высокий отпуск, называемый также низким отжигом ($650\text{—}680^{\circ} \text{C}$), применяют для снижения твердости высоколегированных сталей, поскольку обычным способом отжигать их сложно.

Для экономии теплоты и ускорения процесса производства поковок термическую обработку осуществляют с использованием теплоты поковок после их штамповки, в связи с чем применяют агрегатную организацию рабочих мест (термомеханическая обработка в потоке со штамповкой).

3. Очистка поковок от окалины

Для повышения срока службы режущего инструмента при механической обработке поковок, а также для облегчения контроля качества поверхности поковки очищают от окалины. В промышленности применяют три способа очистки поковок: травление в кислотах (рис. 348, а), дробеметную (рис. 348, б) и в барабанах (рис. 348, в).

Травление было незаменимым способом очистки поковок, так как после дробеметного снятия окалины трудно обнаружить поверхностные дефекты металла (волосовины и др.). В связи с широким внедрением магнитометрических методов контроля это затруднение устранено. Травление поковок теряет практическое значение вследствие низкой экономичности процесса (большого расхода кислот, потерь металла в связи с его растворением и др.) и неудовлетворительных санитарно-гигиенических условий.

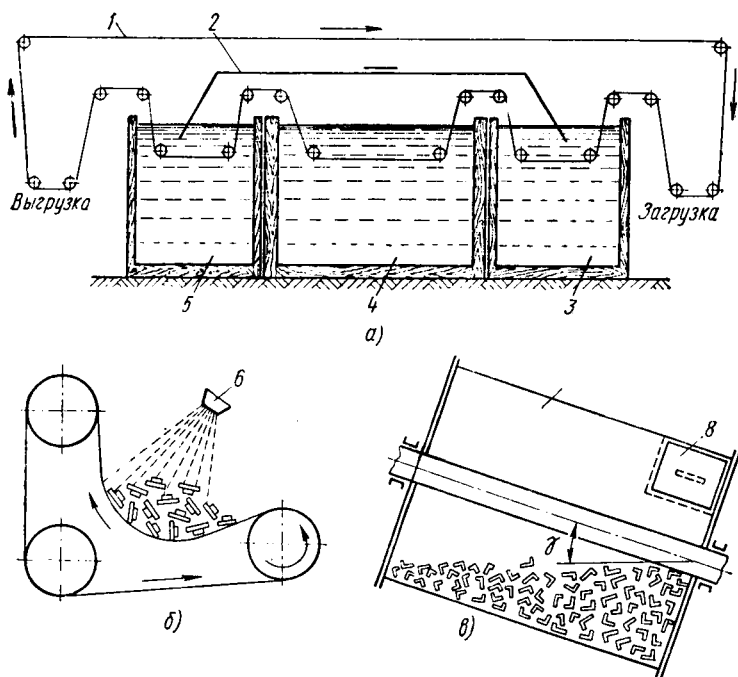


Рис. 348. Способы очистки поковок от окалины:

а — травильная конвейерная установка; б — дробеструйная установка; в — голтовочный барабан; 1 — конвейер; 2 — вытяжной колпак с гидравлическим затвором; 3 — горячая вода для подогрева поковок; 4 — раствор серной кислоты; 5 — горячая вода для промывки; 6 — дробе-метатель; 7 — барабан; 8 — люк

Для дробеметной очистки применяют чугунную дробь диаметром 1,5—2 мм или стальную дробь диаметром 0,5—1,4 в зависимости от размеров поковки, что позволяет сбивать окалину при малых радиусах закругления внутренних ее углов ($R_{\min} = 3 \text{ мм}$). Для дробеметной очистки поковок используют два типа аппаратов. Мелкие и средние поковки подвергают очистке при их движении относительно ленты транспортера, находящейся внутри аппарата (рис. 348, б). Для крупных поковок применяют аппараты, в которых они перемещаются вместе с лентой. Скорость удара дробинки достигает 60 м/с. Применяют пневматическую и механическую подачу дробы, в последнем случае дробь разбрасывается лопатками быстровращающегося ротора. Производительность дробеметных аппаратов до 4—6 т поковок в час. В промышленности используют дробеметные установки периодического и непрерывного действия. Одна из установок Волжского автомобильного завода обрабатывает 400 полуосей в час.

При обработке поковок в барабанах (галтовка) окалина удаляется во время удара поковок друг о друга и о специальные металлические звездочки, закладываемые в барабан. Этот способ

применим только для относительно небольших поковок, чтобы избежать значительных забоин на их поверхности (рис. 348, в). Наклон барабанов под углом γ способствует лучшему перемещению поковок и облегчает их выгрузку. Угол γ должен быть больше угла трения стали о сталь и обычно составляет 20—30°.

Дробеметные установки современных цехов оборудованы сепараторами для очистки дробы от окалины и пылеулавливателями, обеспечивающими нормальные санитарно-гигиенические условия труда в очистном отделении цеха. Для мойки поковок в моечных машинах конвейерного типа или в машинах с касетной погрузкой поковок используют пары трихлорэтилена при температуре в камере мойки 75—80° С. Продолжительность мойки 5—6 мин, производительность камеры 18 т в сутки при емкости корзины 2000 кг.

4. Калибровка поковок

Для повышения точности поковок (по массе и размерам) и улучшения качества поверхности применяют калибровку. Эта операция заключается в незначительном обычно холодном обжатии поковок. В нашей стране калибровку исследовали А. Н. Брюханов, Б. П. Звороно и др. Обжатие поковки между плоскими плитами называют плоскостной калибровкой (рис. 349, а). Она повышает точность размеров поковок только по одной оси — в направлении приложения усилия. Можно калибровать и неплоские поверхности поковок (рис. 349, б). Если калибруют в штампе по типу открытого (рис. 349, в), то образуется небольшой заусенец по его разьему и происходит объемная калибровка. Последняя позволяет повысить точность размеров по трем осям, т. е. всех размеров поковки $H'_{\text{пок}}$, $H''_{\text{пок}}$, $H'''_{\text{пок}}$, а также точность поковок по массе. Для некоторых поковок может быть применена частично плоскостная и частично объемная калибровка. Для сохранения достигнутой при калибровке минимальной шероховатости поверхности поковки целесообразно калибровать после последнего на-

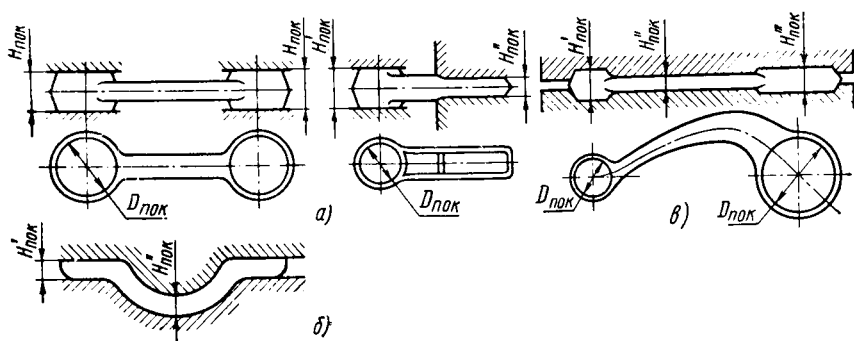
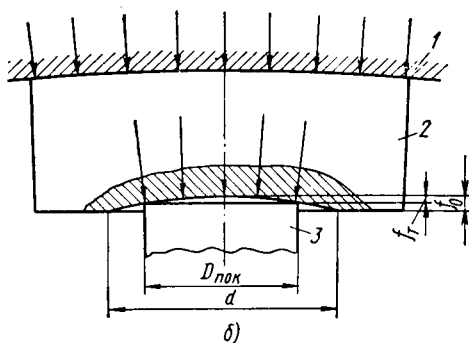
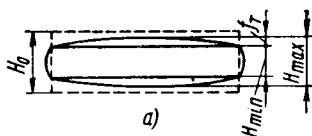


Рис. 349. Разновидности калибровки поковок:

а — плоской поверхности; б — сложной поверхности; в — объемная калибровка

Рис. 350. Схемы, поясняющие образование выпуклости на плоской поверхности при калибровке



грева в процессе изготовления детали. Обычно калибруют поковки, уже прошедшие термическую обработку. Калибровка, совершаемая при температуре 700—800° С, часто называется горячей калибровкой; она не обеспечивает такой низкой шероховатости поверхности, какая достигается при холодной калибровке, но происходит при более низких удельных усилиях. Горячую калибровку применяют до термической обработки поковок.

По точности получаемых размеров поковок различают грубую калибровку (с допусками $\pm 0,1$ — $\pm 0,25$ мм) и повышенной точности (с допусками $\pm 0,05$ — $\pm 0,1$). При необходимости после двукратной калибровки можно получить еще более высокую точность размеров (до $\pm 0,025$). Для плоскостной калибровки припуски P и допуски D предусмотрены ГОСТом.

Шероховатость поверхности после калибровки (без нагревания поковок) достигает 7 и 8-го классов, т. е. такая же, как при шлифовании.

Основным препятствием для получения большей точности размеров при плоскостной калибровке является образование выпуклости на ранее плоских поверхностях (рис. 350, а). При обжатии на величину $H_0 - H_{\min}$ поковка фактически получается с размерами $H_{\min}$ по краям и $H_{\max}$ в середине, несмотря на то, что калибровочные плиты имеют плоскую рабочую поверхность. Наличие стрелы выпуклости $f_T = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2}$ является препятствием для повышения точности размеров поковок.

Для объяснения причин появления выпуклости (называемой также мениском) на калиброванной поверхности рассмотрим вначале процесс в идеализированных условиях, предполагая, что трение отсутствует (рис. 350, б). В этом случае рабочие плиты 2 будут подвергнуты упругому вмятию вследствие внедрения поковки в рабочую плиту (вмятие плиты происходит на большей площади, чем площадь контакта плиты с поковкой) и упругому изгибу вследствие того, что площадь опоры рабочей плиты 2 на подштамповую плиту 1 больше, чем контактная площадь между поковкой 3 и рабочей плитой 2.

Выпуклость калиброванной поверхности, как результат упругого вмятия и изгиба рабочей плиты, характеризуется разме-

рами $D_{\text{пок}}$ и f_{τ} , а вмятие плиты — d и f_0 (рис. 350, б). Величину выпуклости торца можно определить исходя из решения классической задачи теории упругости по деформации упругого пространства (задача Буссинеска). При равномерном распределении нормальных напряжений по площади круга наибольшая стрела прогиба (в м) поверхности штампа вдоль оси деформируемого цилиндра

$$f_0 = \frac{(1 - \mu^2) \sigma_{\tau} D_{\text{пок}}}{E}, \quad (123)$$

а у края цилиндра соответственно

$$f_{\kappa} = \frac{2(1 - \mu^2) \sigma_{\tau} D_{\text{пок}}}{\pi E}, \quad (124)$$

где μ — коэффициент Пуассона (для стали $\mu \approx 0,3$); σ_{τ} — предел текучести материала изделия, МН/м²; $D_{\text{пок}}$ — диаметр цилиндра (поковки), подвергаемого калибровке, м; E — модуль упругости (для стали $E \approx 20 \cdot 10^4$ МН/м²). Отсюда величина выпуклости торца

$$f_{\tau} = f_0 - f_{\kappa} = \frac{0,32 \sigma_{\tau} D_{\text{пок}}}{E}. \quad (125)$$

Если вместо σ_{τ} (при наличии трения) принять $p_{\text{уд}}$ и $D_{\text{пок}} = 1,13 \sqrt{F_{\text{пок}}}$ ($F_{\text{пок}}$ — площадь калибровки), то

$$f_{\tau} \approx \frac{0,36 p_{\text{уд}} \sqrt{F}}{E}. \quad (125')$$

Следовательно, выпуклость при калибровке прямо пропорциональна удельному усилию и линейному размеру поковки в плане на виде сверху и обратно пропорциональна модулю упругости материала штампа. Для уменьшения искажения поверхности при чеканке необходимо использовать штамповую сталь с повышенным модулем упругости. Значительно повысить модуль упругости за счет изменения состава стали не удастся, хотя, например, увеличение содержания углерода в стали от 0,1 до 0,5% приводит к повышению E с $18,6 \cdot 10^4$ МН/м² до $20 \cdot 10^4$ МН/м². Однако дальнейшее повышение содержания углерода в стали не сопровождается заметным повышением модуля упругости.

Значительное повышение модуля упругости можно получить при использовании анизотропии упругих свойств. Так, например, для хромомолибденовой стали после горячей прокатки $E_{\text{max}} = 24,5 \cdot 10^4$ МН/м² и $E_{\text{min}} = 19,6 \cdot 10^4$ МН/м².

Если штамповые плиты изготавливать таким образом, чтобы при калибровке стрела прогиба инструмента совпадала с направлением максимальных величин модуля упругости, то искажение плоской поверхности при калибровке значительно уменьшится (в приведенном выше примере на 25%). Термическая обработка снижает модуль упругости примерно на 10%, но без нее при калибровке штампы подвержены пластическому смятию.

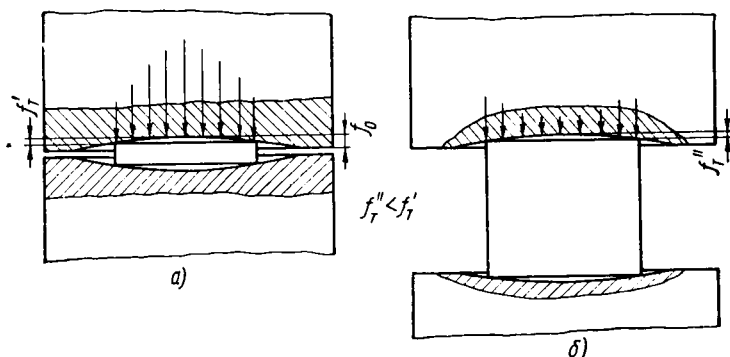


Рис. 351. Выпуклость при калибровке плоских поверхностей у низких (а) и высоких (б) поковок

Если нагревать поковку перед калибровкой, то можно уменьшить σ_t и соответственно величину f_t при условии, что уменьшение модуля упругости, вызванное разогревом штампа, не окажет более значительного обратного воздействия на величину f_t . Если повышение температуры поковки приводит к окалинообразованию, то калиброванные поверхности имеют более шероховатую поверхность, чем калиброванные поверхности без нагрева.

Значительно уменьшить выпуклость поверхности можно уменьшением площади калибровки, в связи с чем на поковках целесообразно сделать наметки отверстий (для деталей с отверстием). При этом повышается точность калибровки и экономится металл при штамповке поковок.

Большое влияние на образование выпуклости оказывает контактное трение, которое в зависимости от соотношения размеров поковки предопределяет удельное усилие калибровки. Известно, что удельные усилия возрастают с увеличением отношения диаметра к высоте образца, что сопровождается значительным увеличением выпуклости калиброванных поверхностей. При большом отношении диаметра образца к высоте ($D : H > 4$) эпюра нормальных напряжений на торце осаживаемого образца имеет куполообразную форму. При калибровке с повышением напряжения в центральной части торца образца увеличиваются местные упругие деформации, в результате чего увеличивается выпуклость (рис. 351, а). Следовательно, при калибровке образцов с отношением $D : H > 4$ влияние упругого вмятия и изгиба плит суммируется с влиянием куполообразного распределения нормальных напряжений, поэтому мениск получается увеличенным (это подтверждено опытами). При деформации высоких образцов ($D : H < 2$) наблюдается убывающая к середине торца образца эпюра нормальных напряжений. Это доказано теоретическим путем и подтверждено экспериментами. При калибровке образцов с $D : H < 2$ удельные усилия относительно небольшие; это об-

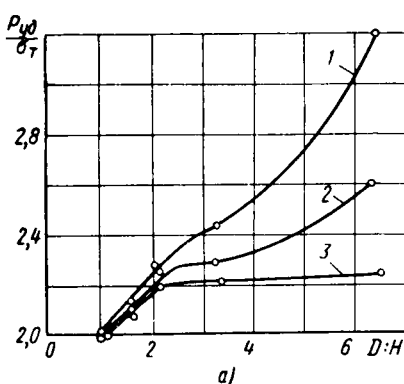
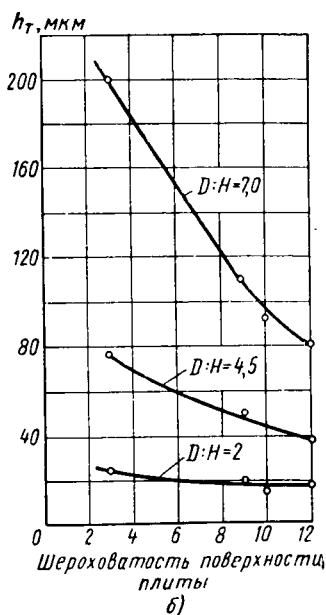


Рис. 352. Влияние сил трения на удельные усилия (а) и величину выпуклости калиброванной поверхности h_T (б):

1 — грубо обработанные; 2 — шлифованные; 3 — смазанные, шлифованные плиты



стоятельность и то, что нормальные напряжения снижаются от периферии к центру торца образца, значительно уменьшают выпуклость (рис. 351, б).

На рис. 352, а дан график изменения удельных усилий при осадке в зависимости от отношения $D:H$. При $D:H < 2$ качество обработки поверхности инструмента оказывает небольшое влияние на удельные усилия. Однако с увеличением отношения $D:H$ кривые резко разветвляются. Более грубая обработка плит характеризуется крутым подъемом кривой. Таким образом, с уменьшением шероховатости при обработке плит и при их смазке удельные усилия уменьшаются, а следовательно, уменьшается и выпуклость торцов образцов. Это проявляется тем интенсивнее, чем больше отношение $D:H$.

До тех пор, пока зоны затрудненной деформации находятся на каком-то расстоянии друг от друга ($D:H < 2$), их форма и размеры (зависящие от контактных сил трения) существенно не влияют на увеличение сопротивления деформации. Когда эти зоны начинают взаимодействовать ($D:H \geq 4$), то по мере их сближения трение начинает играть все большую роль и сопротивление деформации увеличивается. Указанные явления и сказываются на величине выпуклости при калибровке. О роли величины $D:H$ в образовании выпуклости можно судить по осадке образцов из армо-железа (рис. 352, б). При $D:H = 7$ трение на величину выпуклости влияет интенсивнее, чем при $D:H = 4,5$ и еще интенсивнее при $D:H = 2$, когда выпуклость в несколько раз меньше.

О пригодности стали для калибровочных плит обычно судят по ее твердости после закалки (RC 58—62) и прочности в термически обработанном состоянии. Однако, как было показано, основной характеристикой стали для калибровочных плит является модуль упругости E . Для изготовления плит применяют стали ШХ15, X12M и другие им подобные, которые могут выдерживать удельные усилия при калибровке, достигающие до 2500 МН/м². Величина удельного усилия при калибровке зависит от тех же факторов, что и при штамповке. Кроме того, учитывается упрочнение стали при калибровке, которое повышает в 1,5—2 раза сопротивление деформации в зависимости от степени деформации.

Чем больше масса (в известных пределах) калибровочных плит, тем меньше выпуклость за счет их изгиба. В частности, увеличение толщины плит приводит к уменьшению их изгиба. При увеличении размеров плит в плоскости калибровки изгибающий момент увеличивается пропорционально увеличению плеча в первой степени и одновременно уменьшается пропорционально уменьшению давления на опору во второй степени. Следовательно, целесообразно применять плиты, у которых площадь опоры в несколько раз больше площади контакта между поковкой и плитой. Соотношение этих величин можно получить расчетом при условии отсутствия смятия подштамповой плиты:

$$F_{\text{оп}}\sigma_{\text{см}} > F\rho_{\text{уд}},$$

где $F_{\text{оп}}$ — опорная площадь рабочей плиты; $\sigma_{\text{см}}$ — сопротивление смятию подштамповой плиты; F — контактная площадь калибровки; $\rho_{\text{уд}}$ — удельное усилие калибровки.

Калибровкой отоженных поковок можно повысить точность их размеров, но если поковки подвергают закалке и отпуску, то калибровку стараются выполнять после термической обработки, так как при этом исключается механическая обработка поковок.

Увеличение удельных усилий на деформацию при возрастании $D : H$ приводит к тому, что при $D_{\text{пок}} : H_{\text{пок}} > 20$ калибровка в холодном состоянии стальных поковок плитами из обычной штамповой стали становится нецелесообразной.

При уменьшении контактного трения снижаются удельные усилия и разность напряжений между центром и периферией торца, поэтому уменьшается и величина выпуклости на поковке. Для уменьшения удельных усилий применяют смазки и тщательно обрабатывают поверхность рабочих плит. Однако обильное смазывание поковок приводит к ухудшению качества поверхности, что не всегда допустимо. Смазка особенно эффективна при калибровке поковок с большим отношением диаметра к высоте.

Большие степени деформации приводят к наклепу стали и, как следствие, к увеличению выпуклости поверхности. Для получения поковок с заданными размерами достаточна деформация 1—2%. Однако малые степени деформации не позволяют

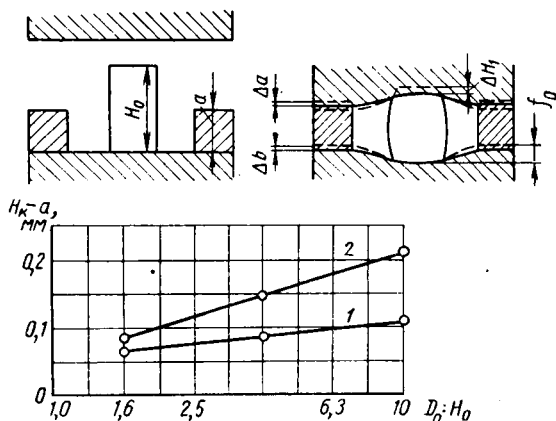


Рис. 353. Схема штампа с ограничителем для калибровки с уменьшенной выпуклостью обжатой поверхности и повышенной точностью по высоте поковки:

1— $\epsilon_{0H}=10\%$; 2— $\epsilon_{0H}=20\%$

получить поверхность высокого качества. Очень важно, чтобы колебания степени деформации были минимальными; это зависит от постоянства величины припуска на калибровку. На практике для уменьшения выпуклости поверхностей иногда применяют плиты с выпуклой рабочей поверхностью, кривизну которой определяют опытным путем.

Из курса «Оборудование кузнечно-штамповочных цехов» известно, что при однократной калибровке на прессах поковка дважды обжимается, что соответствует двукратному прохождению распорных звеньев пресса через распрямленное положение. Прессы с кулачковым приводом этих звеньев могут осуществлять и несколько двойных обжатий поковки за один рабочий ход, если профилю кулачка придать волнообразный контур. Многократная калибровка приводит к уменьшению выпуклости калиброванной поверхности, причем особенно эффективны первые пять-шесть двукратных обжатий. Исследования показали, что такое число обжатий наиболее целесообразно и с точки зрения уменьшения шероховатости поверхности поковки. Высота неровностей шероховатой поверхности, измеренных профилографом после пяти двойных обжатий, уменьшается более чем 2 раза. Дальнейшее увеличение числа обжатий уже не приводит к существенному повышению качества поверхности.

Один из эффективных приемов уменьшения выпуклости плоских поверхностей, обжатых при калибровке, состоит в том, что калибруют в тот момент, когда верхний и нижний штампы входят в соприкосновение и пресс работает в распор. Это приводит к тому, что изгиб и упругая вогнутость плит уменьшаются, а ход прессы ограничивается не только его механизмом, но и инструментом. Расход энергии и усилие на деформацию при таком способе калибровки несколько больше, чем при обычном процессе, но это окупается значительным повышением точности размеров поковок (рис. 353).

При калибровке с жесткими ограничителями хода ползуна пресса удается уменьшить влияние упругих деформаций штампа на точность размеров изделия. Соотношения отдельных составляющих упругой деформации штампа и поковки приведены на рис. 353. Ограничители высотой a при калибровке упруго сжимаются на величину Δa , тогда как верхняя и нижняя плиты — на Δb . Кроме того, у плит образуется упругая вогнутость глубиной f_0 . Влияние всех факторов на конечную высоту поковки с учетом обратного ее пружинения ΔH_1 может быть выражено как сумма следующих величин:

$$H_k = a - \Delta a - 2\Delta b + 2f_0 + \Delta H_1.$$

После калибровки поковка выступает над уровнем ограничителей хода на величину разности ($H_k - a$). Зависимость этой величины от соотношения размеров калибруемой поковки для двух степеней деформации приведена на рис. 353. Данные относятся к калибровке образца $D_0 = 25$ мм из сплава $AlMgSi_3$.

Усилие калибровки обычно определяют по формуле

$$P = p_{уд}F, \quad (126)$$

где $p_{уд}$ — среднее удельное усилие для калибровки; F — контактная площадь калибровки.

Исследование Б. П. Звороно показали, что, если для обычной калибровки жесткость пресса должна быть по возможности высокой, то при калибровке с ограничителями более высокая точность размеров поковок может быть достигнута при использовании прессов с низкой жесткостью (с большой упругой деформацией деталей), что является определенным преимуществом.

Калибровочный инструмент. Инструментом для плоской калибровки являются плоские плиты. Штампы для объемной калибровки во вставках имеют ручки. Для заусенца канавок не предусматривается; он вытесняется в щель между плоскими частями штампа и удаляется, как и обычно, в обрезных штампах. Для плоскостной калибровки плиты закрепляют в массивных блоках. Процесс осуществляют на специальных прессах, обладающих малым ходом и большой жесткостью (с малой упругой деформацией при нормальном усилии).

Дефекты при калибровке. Дефекты поковок после калибровки заключаются в большой шероховатости поверхности при некачественной или слишком обильной смазке и в искажении формы поковок при большой степени деформации по высоте. Особенно значительно форма поковок искажается при одновременной обработке двух или нескольких плоскостей. Например, при калибровке поковок типа шатуна (рис. 354, а) одновременная калибровка двух поверхностей приводит к встречному перемещению металла в направлении перемычки между обрабатываемыми поверхностями, что может изогнуть среднюю часть шатуна. Уменьшение припуска на калибровку может уменьшить указан-

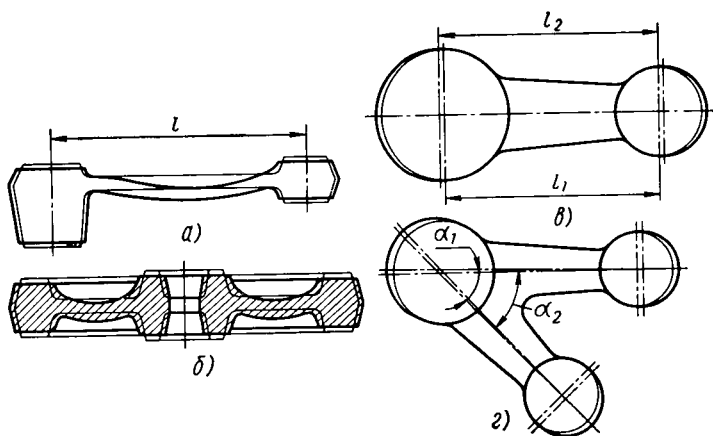


Рис. 354. Дефекты при плоскостной калибровке

ную деформацию, но полное устранение ее возможно лишь при раздельной калибровке плоскостей. Если поковка имеет форму, показанную на рис. 354, б, то раздельная калибровка плоскостей не даст необходимого эффекта и при этом надо будет уменьшить припуски и допуски на операцию. Если стержень поковки имеет достаточно большую массу и противостоит возникающим продольным силам, то калибруемые головки получают эллиптической формы, причем расстояние между центрами головок l_1 увеличивается до величины l_2 (рис. 354, в). При обработке более сложных поковок, например двуплечего рычага (рис. 354, г), изменяется не только расстояние между осями головок, но и угол между ними (α_2 вместо α_1).

Поскольку калибруют обычно после очистки поковок, то участок калибровки размещают в термическом отделении штамповочного цеха, вблизи от очистного участка.

Оборудование устанавливают батарейным способом, так как калибровку, как и холодную обрезку заусенцев, выполняют обычно не в общем потоке основного технологического процесса (вследствие того, что производительность на этих операциях значительно больше, чем при штамповке).

На современных заводах калибровка поковок механизирована или даже автоматизирована, для чего применяют шибберную подачу, переключники, шаговые и другие типы транспортеров. Эти механизмы приводят в действие от ползуна основного пресса. На Волжском автомобильном заводе калибровочные прессы работают в автоматизированном режиме. Производительность прессов для среднегабаритных поковок достигает 2000 шт./ч. Кроме увеличения производительности, преимущества этого процесса заключаются в более безопасной работе по сравнению с процессом с ручной подачей и уборкой калиброванных поковок.

ШТАМПЫ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

1. Типы, материал и условия работы штампов

Штампы, применяемые в технологических процессах горячей объемной штамповки, подразделяют на основные (для оформления поковок, обрезки заусенца, удаления перемычек) и отделочные (для правки и калибровки). По способу монтажа основные штампы подразделяют на цельноблочные (моноконтные или со вставками для всех типов молотов) и сборные (в блоках для прессов и горизонтально-ковочных машин).

Прессовые сборные штампы, монтируемые в блоках (в виде пакетов), а также цельноблочные штампы, подразделяют на верхние и нижние или на подвижные и неподвижные. Для штамповки с заусенцем применяют открытые штампы, обычно состоящие из двух указанных частей. Для штамповки без заусенца применяют закрытые штампы (с компенсатором и без него) и штампы для выдавливания; те и другие состоят из матриц и пуансонов. Независимо от типа штампы бывают одноручьевые и много-ручевые.

По конструктивным признакам штампы различают с одной плоскостью разреза (молотовые), с одной плоскостью разреза и выталкивателями (прессовые) и с двумя плоскостями разреза (для горизонтально-ковочных машин и иногда для прессов). Инструмент для штамповки поковок на специализированном оборудовании классифицируют по перечисленным признакам, исключение составляет инструмент ковочных вальцов, который имеет разрез по круговой линии.

Материалы для бойков и штампов. Условия работы различных типов штампов имеют много общего; отличия связаны с режимом деформации металла и разделением штампов на сборные и цельноблочные, работающие при динамических нагрузках (штампы молотов и винтовых прессов).

В процессе горячей деформации металла инструмент подвергается большим напряжениям — от внешних сил и от чередующихся нагревов и охлаждений. Нагрев поверхности ручья, в котором размещают заготовку при температуре 800—1250° С, достигает в среднем 400—500° С, а в тонких ребрах, выступах

Химический состав и твердость отожженной или высокоотпущенной штамповой стали

Марка стали	Состав легирующих элементов, %							Твердость НВ, не более
	Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Вольфрам	Ванадий	Молибден	Никель
3Х2В8Ф	0,30—0,40	0,15—0,40	0,15—0,40	2,2—2,7	7,5—8,5	0,2—0,5	—	—
7Х3	0,60—0,75	0,15—0,40	0,15—0,35	3,2—3,8	—	—	—	241
8Х3	0,75—0,85	0,15—0,40	0,15—0,35	3,2—3,8	—	—	—	229
5ХНМ	0,50—0,60	0,50—0,80	0,15—0,35	0,5—0,8	—	—	0,15—0,30	241
5ХНВ	0,50—0,60	0,50—0,80	0,15—0,35	0,5—0,8	0,4—0,7	—	—	1,4—1,8
5ХНВС	0,50—0,60	0,30—0,60	0,60—0,90	1,3—1,6	0,4—0,7	—	—	1,4—1,8
5Х1ГМ	0,50—0,60	1,20—1,60	0,25—0,65	0,6—0,9	—	—	0,15—0,30	255
4Х3ВМФ	0,45—0,48	0,3—0,6	0,60—0,90	2,8—3,5	0,6—1,0	0,6—0,9	0,40—0,60	241
4ХМФС	0,37—0,45	0,5—0,18	0,5—0,8	1,5—1,8	—	0,3—0,5	0,9—1,2	241
4Х5МФ1С	0,37—0,44	0,15—0,40	0,80—1,20	4,5—5,5	—	0,8—1,1	1,2—1,5	241
4Х5В2ФС	0,35—0,45	0,15—0,40	0,80—1,20	4,5—5,5	1,6—2,4	0,6—1,0	—	241

и в поверхностных слоях гравюры 600° С и выше (до хорошо видимого свечения металла в темноте).

Нагретый деформируемый металл прижат к поверхности ручья с большой силой (до 2000 МН/м²), вследствие чего нагревается штамп; температура его нагрева зависит от продолжительности соприкосновения с металлом. Время плотного соприкосновения металла со штампом зависит от продолжительности воздействия рабочих органов машины на заготовку в процессе деформации. По расчетным данным это время для молотов составляет $(5 \div 10) \times 10^{-3}$ с (за один удар), а для скоростных молотов еще меньше, для эксцентриковых пресов — $(150 \div 250) \cdot 10^{-3}$ с, для кривошипных пресов и горизонтально-ковочных машин $(30 \div 200) \cdot 10^{-3}$ с.

Бойки и штампы в основном изготавливают из ковanej стали, а вставки — из ковanej, литой стали и даже чугуна. Твердые сплавы применяют преимущественно как наплавочный материал, чаще — при ремонте. К материалу для инструмента предъявляют следующие требования.

1. Высокое сопротивление небольшим деформациям при температурах разогрева термически обработанных штампов.

2. Высокое сопротивление деформации стали в отпущенном состоянии вследствие повышения температуры разогрева в отдельных частях штампа выше температуры отпуска (знаки, выступы, ребра, углы).

3. Высокая температура критических точек, определяющая температуру отпуска стали.

4. Высокая разгаростойкость.

5. Достаточная ударная вязкость при температурах 300—600° С.

6. Высокая износостойкость при повышенных температурах.

7. Относительно небольшой коэффициент теплового расширения и незначительная зависимость его от изменения температуры при разогреве штампов.

8. Глубокая прокаливаемость.

9. Незначительное коробление при термической обработке.

10. Хорошая обрабатываемость резцом или абразивом.

11. Пониженная склонность к схватыванию со штампуемым металлом или высокая температура слипаемости (выше 700° С).

12. Относительно низкая стоимость.

13. Недефицитность легирующих элементов, входящих в состав штамповой стали.

В табл. 42 приведены штамповые стали по ГОСТ 5950—73. В него входят также стали (последние четыре) для штампов, применяемых при обработке труднодеформируемых сплавов. Эти стали не содержат никеля, и только некоторые из них, в частности предназначенные для штампов, работающих в особо тяжелых условиях (три последних), содержат молибден. К штамповым сталям, содержащим никель, относятся 5ХНМ, 5ХНВ и 5ХНВС. Для штампов целесообразна химико-термическая обработка, в частности азотирование, которое значительно улучшает условия работы и повышает их стойкость.

2. Износ штампов

Известны несколько составляющих износа штампа. Главные из них — сетка разгарных трещин, истирание, смятие (пластическая деформация элемента ручья), выкрашивание и разрушение штампа. Обычно в изношенном штампе одна из указанных составляющих преобладает и тогда ей и приписывают износ. В зависимости от условий работы штампы имеют большую или меньшую стойкость, граница которой обычно определяется годностью штампуемых поковок по размерам. Разрушение штампа равнозначно аварии и в нормальных условиях работы не происходит. Ремонт штампов бывает двух видов: текущий (зачистка, снятие наплывов и т. п.); промежуточный для возобновления изношенного штампа (наплавка по месту износа, снятие слоя штампа, переточка на другую форму и т. п.).

В характеристику условий работы штампов входят: химический состав штамповой стали и термическая обработка штампа, химический состав, форма, способ и температура нагрева заготовок, габаритные размеры и конфигурация поковок, тип штампов и правила ухода за ними (нагрев до начала штамповки, охлажде-

ние во время штамповки, своевременный текущий ремонт, качественная и систематическая смазка штампа и т. д.). Для экономии дорогостоящей штамповой стали применяют рабочие вставки в массивных блочных и даже составные вставки в сборных штампах. Стойкость штампов со вставками увеличивается с уменьшением отношения $D_{\text{пок}} : H_{\text{пок}}$. Например, при таком отношении, равном 1,3, расход металла на вставные штампы в 2 раза меньше, чем на цельноблочные. При отношении, равном 8, вставки уже экономически нецелесообразны. Таким образом, чем больше высота поковок и глубже полость ручья, тем выгоднее применять штампы со вставками.

Увеличение стойкости штампов экономически целесообразно, особенно в тех случаях, когда серийность производства поковок выше стойкости соответствующих штампов. Точность штамповки в менее изнашиваемом штампе, выше, чем в штампе, изношенном до предела. Высокая стойкость штампов особенно необходима при автоматизированном изготовлении поковок.

Наибольшая стойкость штампового инструмента возможна в условиях его естественного износа. При этом штамп не имеет чрезмерно развитых трещин и может быть подвергнут очередному ремонту; поверхность поковок имеет достаточно высокое качество. Естественный износ штампа отвечает нормальным условиям их эксплуатации, при которых соблюдают расчетный интервал температур штамповки, по возможности точную дозировку заготовок, своевременно удаляют окалину с заготовок, инструмент не имеет значительных перекосов и смещений, штампуют при оптимальном числе ударов в каждом ручье (на молоте), применяют эффективную смазку и обдувку штампа, подогревают штамп перед работой и равномерно охлаждают в процессе работы, своевременно зачищают штамп и т. д. Изменение этих условий эксплуатации приводит к преждевременному износу штампов. Ниже рассмотрены виды износа и условия правильной эксплуатации штампов.

Разгар штампов и меры его уменьшения. Наибольшие опасные напряжения в штампах соответствуют первому периоду его охлаждения, при котором перепад температур имеет максимальное значение. Отдельные элементы штампа нагреваются до различных температур. Из-за невыгодных условий для отвода теплоты знаки, ребра и выступы нагреваются до более высоких температур, чем стенки полости. В момент штамповки трение повышает температуру заусенца на 200°C и более.

В нормальных условиях горячей штамповки штампы должны быть нагреты до температуры $250\text{--}400^{\circ}\text{C}$, которая отвечает наибольшей прочности штамповой стали и одновременно способствует уменьшению перепада температур между заготовкой и штампом. Искусственное охлаждение штампа происходит в промежутке между двумя операциями штамповки, причем теплота отводится в основном от поверхности ручья и частично с зеркала штампа. Естественное остывание штампа происходит в течение

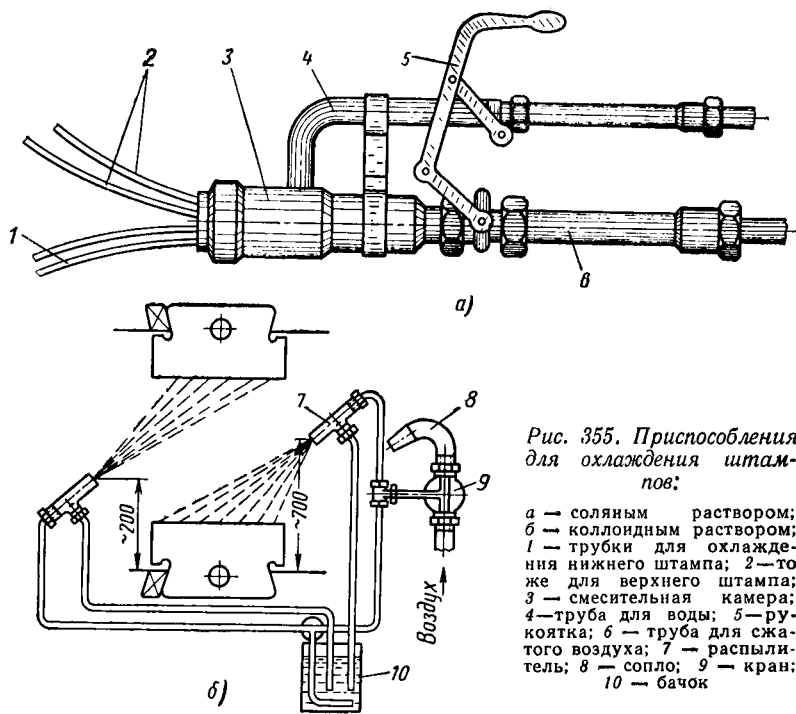


Рис. 355. Приспособления для охлаждения штампов:

- а — соляным раствором;
 б — коллоидным раствором;
 1 — трубки для охлаждения нижнего штампа; 2 — то же для верхнего штампа;
 3 — смесительная камера;
 4 — труба для воды; 5 — рукоятка; 6 — труба для сжатого воздуха; 7 — распылитель; 8 — сопло; 9 — кран;
 10 — бачок

всего периода штамповки за счет отвода теплоты остальной частью его поверхности. Чтобы обеспечить среднюю температуру штампа ($250\text{--}400^\circ\text{C}$), приходится допускать разогрев поверхности ручьев в процессе штамповки до более высокой температуры ($500\text{--}600^\circ\text{C}$), а охлаждение до более низкой температуры ($100\text{--}150^\circ\text{C}$). Это и создает перепад температур в несколько сот градусов в поверхностном слое ручья штампа, подверженном разгару, который представляет собой сетку мелких поверхностных трещин. То, что такой перепад температур при быстром, многократно повторяющемся охлаждении приводит к разгару поверхности металла, подтверждают опыты по искусственному образованию разгара (с переменным многократным нагревом и охлаждением образцов). Различные стали имеют неодинаковую разгаростойкость в зависимости от способности сопротивляться растягивающим напряжениям, возникающим при охлаждении металла.

Напряжения, соответствующие величине температурного перепада при охлаждении штампов, зависят от интенсивности их охлаждения. Чем больше время охлаждения штампа, тем с меньшей интенсивностью возможно охлаждение, меньше величина напряжений и тем выше его разгаростойкость. Обе половины штампа охлаждают водой с помощью разбрызгивающего приспособления (рис. 355). При нанесении на штамп водной смазки

он охлаждается за счет расхода теплоты на испарение воды, остающаяся твердая составляющая выполняет роль сухой смазки, уменьшая трение.

Для уменьшения разгара целесообразно внутреннее охлаждение штампов (см. рис. 252). Воду подводят и отводят по гибким шлангам через штуцеры. При этом способе охлаждения теплота отводится в направлении подвода теплоты (а не в обратном направлении, как при обычном охлаждении штампов) и непрерывно в течение всего периода штамповки. Наиболее опасный момент для появления разгара (начало охлаждения) при этом исключается. По данным Д. М. Корнеева, стойкость штампов с внутренним охлаждением примерно в 2 раза выше, чем штампов с обычным охлаждением.

Другим способом, уменьшающим опасные для штампов пиковые растягивающие напряжения, является равноинтенсивное внешнее охлаждение. Сущность этого охлаждения состоит в том, что через рабочую поверхность штампа теплота отводится так, чтобы появляющиеся тепловые напряжения имели одинаковую относительную величину в течение всего периода между смежными операциями штамповки. Для обеспечения режима равноинтенсивного охлаждения постепенно увеличивают количество охлаждающей среды или уменьшают ее температуру по мере остывания штампа. Это можно осуществить комбинацией водного охлаждения с воздушным (автоматизируя дозировку и подачу охладителя на штамп). Равноинтенсивный режим охлаждения, так же как и внутреннее охлаждение, благоприятно влияет на разгаростойкость штампов. Если времени на охлаждение штампа недостаточно, то иногда в нем применяют два одинаковых ручья, в которых поковки штампуют поочередно.

Истирание штампа. Истирание штампа происходит в местах, подверженных силам трения при перемещении деформируемого металла относительно рабочей поверхности штампа. Места прилипания (застойные участки на контактной поверхности) соответствуют зонам затрудненной деформации металла, где истирание штампа либо отсутствует, либо незначительно. Чем больше отношение высоты выступа к поперечному его размеру, тем больше истирание; напротив, для стенок полостей истирание тем больше, чем больше отношение ширины полости к ее высоте. Истиранию особенно подвержены стенки полостей, которые заполняются при выдавливании металла. Процесс истирания нагретого металла аналогичен процессу истирания холодного металла и представляет собой отрыв и унос частичек металла шероховатой поверхности инструмента. Если штамп имеет высокое качество поверхности (например, 7—9-й классы шероховатости, ГОСТ 2789—73), то износ его за счет истирания незначителен. Истирание прогрессирует при появлении разгара штампа. Чем меньше и глубже ячейки разгарной сетки, тем значительнее истирание штампа. Деформируемый материал под влиянием

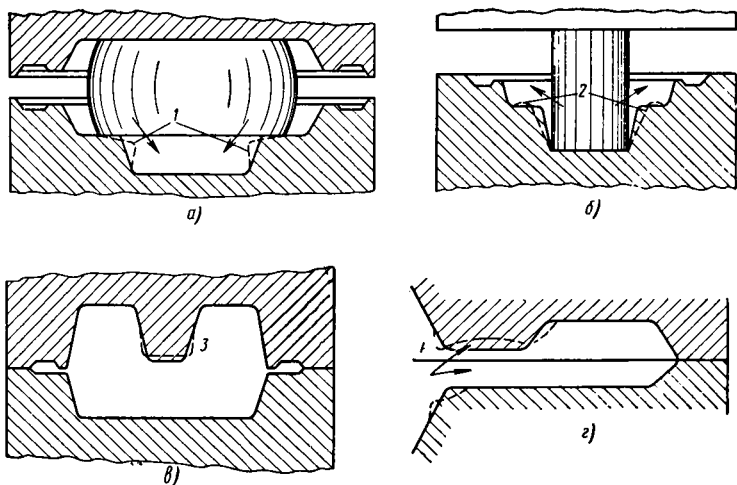


Рис. 356. Искажение формы плоскости штампа под влиянием его пластической деформации (стрелками указано направление деформации штампа):

1 — поднутрение; 2 — увеличение уклона; 3 — деформация знака; 4 — деформация порога канавки

действующих сил затекает во все мелкие разгарные трещины и при перемещении по поверхности штампа еще более увеличивает их. Разгар, истирание поверхности, покрытой сеткой разгарных трещин, а также местное размытие и выкрашивание крутых и высоких составляющих рельефа шероховатой поверхности представляют собой эрозию штампа. Эрозия сопровождается увеличением объема полости ручья.

Деформация штампа (смятие). Под влиянием местного разогрева и больших давлений материал штампа в отдельных местах ручья подвергается оплыванию, смятию и другим остаточным деформациям, ведущим к искажению формы полости (рис. 356). При деформации кромок полости образуются поднутрения, задерживающие удаление поковки из ручья (рис. 356, а), или, наоборот, происходит увеличение уклона штампа (рис. 356, б).

Деформация кромок зависит от направления течения деформируемого металла в полости: либо металл течет для образования ступичной части шестерни, как показано на рис. 356, а, либо для образования ее венца (рис. 356, б). На рис. 356, в показана деформация знака, а на рис. 356, г — деформация порога заусенечной канавки. При соударении молотовых штампов происходит смятие зеркала штампа, при этом глубина полостей и размеры поковки по высоте уменьшаются.

Для уменьшения износа отдельных элементов штампа вследствие их пластической деформации применяют различные способы: более полное фасонирование в подготовительных ручьях; исполь-

зование проката периодических профилей или вальцовки фасонных заготовок взамен их штамповки из обычного торгового проката; сокращение числа ударов в ручье при применении для штамповки на молотах дополнительных, например, черновых ручьев и т. п. Для предотвращения чрезмерного разогрева штампа применяют специальные теплоизолирующие среды, которые можно наносить на заготовки или на поверхность ручья штампа вместе со смазкой. К числу малотеплопроводных наполнителей для смазок, кроме стекла и графита, являющихся собственно смазкой, могут быть отнесены асбестовая пыль, слюда, некоторые соли (например, иодистые).

Температуру разогрева молотового штампа в процессе работы можно понизить за счет повышения температуры штампуемого металла (штамповка в интервале более высоких температур); при этом время штамповки уменьшается настолько, что штамп не успевает нагреться до опасной температуры. Этот прием возможен и для прессов при увеличении их быстроходности.

Если появление разгара вызывается растягивающими напряжениями, то для пластической деформации штампа опасны сжимающие напряжения. Искажение формы ручья может быть вызвано также тепловыми напряжениями.

В ы к р а ш и в а н и е ш т а м п о в. Поверхность полости штампов и особенно внешние углы подвержены эрозии и выкрашиванию металла, что быстро выводит штамп из строя. При эрозии поверхности штампов появляется неокисленная и несмазанная поверхность металла штампа, к которой легко пристает деформируемый металл (налипание); при этом возможно полное схватывание металла (сварка). В противоположность эрозии налипание и свариваемость искажают форму ручья, уменьшая его объем. Налипший металл оставляет следы на поковках, которые обычно поступают в брак из-за некачественной поверхности или несоответствия размеров, заданных чертежом.

3. Уход за штампами и их стойкость

Правильный уход увеличивает стойкость штампов на десятки процентов, а в отдельных случаях даже в несколько раз. К числу основных мероприятий по уходу за штампами (кроме нагрева перед работой и охлаждения в процессе работы) относится их смазка.

При горячей штамповке требования к смазке значительно усложняются, так как она должна снижать силы трения, быть бездымной, не терять смазочных свойств при разогреве штампа, гарантировать высокое качество поверхности поковок, предотвращать налипание металла на инструмент и обеспечивать его высокую стойкость. Качество смазки характеризуется кроющей способностью, негорючестью, недефицитностью, невысокой стоимостью, простотой нанесения и т. п. Эффективная

смазка уменьшает работу деформации при изготовлении поковок, обеспечивает применение меньших штамповочных уклонов и уменьшает износ штампов. Кроме того, смазка может способствовать уменьшению угара металла, охлаждению штампов и, наконец, играть роль теплоизолятора — уменьшать переход теплоты от деформируемого металла к штампу.

В прошлом иногда применяли антисанитарную мазутную смазку, смоченные водой опилки и солевые растворы. Применение смесей порошкового графита на минерально-масляной основе не дает должного эффекта, так как эта смазка располагается на поверхности неравномерно и легко выдавливается при деформации металла.

Промышленностью уже давно освоены водные и масляные суспензии мелкодисперсного графита, которые иногда называют коллоидным графитом. Водную суспензию графита применяют для покрытия обезжиренных поверхностей штампов, нагретых до 100—150° С. Вода быстро испаряется, и на поверхности штампа остается плотный и равномерный слой в виде пленки мелкодисперсного графита, который после полирования продолжительное время остается на поверхности ручья. По истечении 1—2 ч этот слой возобновляется в процессе работы штампа. В отдельных случаях стойкость штампов при этой смазке увеличивается в 1,5—2 раза. Если значительный разогрев штампа недопустим, то применяют систематическую смазку и охлаждают штампы после каждой штамповки, что в последнее время считается обязательным.

Для смазки штампов получила распространение суспензия графита на масляной основе. Хорошие результаты получены от смазки, состоящей из суспензии коллоидного графита на ланолиновой основе, которой покрывают поверхность штампа предварительно и во время его эксплуатации. Графит должен быть высокой чистоты (99,9%); размер его частиц не должен превышать нескольких микронов, однако лучше, если они составляют доли микрона. От измельчения графита зависят его адсорбционные свойства, что определяет кроющую способность и прочность графитовой пленки на поверхности штампа. Чем тоньше слой, тем эффективнее действие смазки. Смазку рекомендуют наносить малыми дозами, часто и регулярно; обильная же, наносимая изредка смазка штампов нецелесообразна. Штампы для прессов и горизонтально-ковочных машин иногда смазывают графитно-ланолиновой пастой, которая после расплавления проникает в труднодоступные места ручьев. Чаще смазку наносят пульверизатором. При выдавливании применяют в качестве смазки натронные, калийные и на основе бора стекла (жидкая смазка, паста и др.).

Из литературы известна практика применения омедненных штампов без дополнительной смазки. На некоторых отечественных заводах успешно применяют в качестве смазки сульфитцеллюлозный щелок (отход бумажного производства) в смеси с гра-

фитом (3 : 1); растворы поваренной соли в воде (10—30%) — при штамповке на мелких и средних молотах.

Окалину с нагретой заготовки удаляют при погружении ее в слегка влажную крупную соль, превращающуюся в жидкий шлак, остатки которого служат смазкой.

Для жаропрочных сплавов с узким температурным интервалом штамповки применяют смазку из порошка иодистого калия (67%) и чешуйчатого графита (33%). Иодистый калий, соприкасаясь с нагретой поверхностью штампа, расплавляется и растворяет графит. Эта смазка способствует хорошему заполнению ручьев и легкому удалению поковки из штампа, кроме того, она не налипает на стенки штампа.

В литературе рекомендуется смазка, состоящая из 28% углекислого лития, 14% муравьинокислого лития, 25% коллоидного графита, 28% воды и 5% вторичных алкилсульфатов (поверхностно активных веществ). В. И. Залесский предложил применять защитную обмазку заготовок перед их нагревом. Это защищает металл от окисления и затем обмазка служит смазкой. Если обмазка теплоизолирует штамп, то решается и задача по предотвращению чрезмерного перегрева штампа в процессе работы. В Московском институте стали и сплавов опробована с положительным эффектом обмазка из стеклопорошка (размер частиц 40—50 мкм) и связующего водного раствора сульфитцеллюлозного щелока.

Расходы на штампы велики (до 10—15% в калькуляции себестоимости поковок), поэтому затраты на эффективные мероприятия по увеличению стойкости штампов быстро окупаются. Перспективная система ухода за штампами включает: предотвращение окалинообразования или снятие окалины с заготовок; обеспечение оптимальной температуры штампа; своевременную зачистку и очистку ручья; теплоизоляцию гравюры штампа для предотвра-

Таблица 43

Стойкость штампов и расход штамповой стали

Штампующие поковки	До первого возобновления, шт.	Число установок штампа до его износа	До полного износа штампа, шт.	Удельный расход штамповой стали на 1000 кг поковок, кг
Тяжелые и длинные (передние оси, коленчатые валы)	3 500	3	10 500	7,8
Типа поворотных кулаков	5 000	3	15 000	11,0
Шатуны и рычаги средних размеров	10 000	4	40 000	13,5
Типа шестерен	15 000	4	60 000	12,0

щения перегрева и оплывания внешних углов и ребер; качественную и систематическую смазку для снижения сил вредного трения в местах перемещения металла относительно штампа. Однако при использовании трения (активное трение, например, при выдавливании или трение сопротивляющегося действия, например, на пороге канавки для заусенца) смазка вредна.

К мероприятиям по уходу за штампами относится также систематическое (после каждой штамповки) удаление окалины из их полостей. Окалина оказывает на штамп такое же воздействие, как абразив. Зачистка и другие виды текущего ремонта необходимы и способствуют увеличению работоспособности штампа. Оплывание (деформация) знаков, ребер, кромок устраняют не только зачисткой, но и пластической деформацией с помощью пневматического молотка. Стойкость элементов штампа, восстановленных таким способом, иногда даже выше вновь изготовленных.

Расход штампов определяют по их стойкости, которая в значительной степени зависит от марки штамповой стали, способа изготовления штампов и условий их эксплуатации.

В табл. 43 приведены средние данные стойкости и расхода штамповой стали 5ХНМ на 1000 кг поковок из среднелегированной стали при изготовлении их на молотах крупными сериями.

Применительно к штамповым сталям, приведенным выше, их средний удельный расход для различных штампов в кг на 1000 кг поковок следующий:

Молотовых	14,5
ГКМ	12,6
Обрезных	1,8

Приведенные данные являются ориентировочными.

На рис. 357 приведены данные УЗТМ по стойкости молотовых штампов из стали 5ХНВ, термически обработанных до *НВ* 341—368. Поковки трех групп (по сложности формы) из углеродистой и среднелегированной сталей штамповали при температуре нагрева 1150—1200° С и подогреве штампа газовыми горелками до 250—400° С. При этом штампы смазывали мазутом. Для поковок типа тел вращения (группа I) стойкость штампов, определяемая по кривым, действительна для отношения приведенной высоты $\left(H_{\text{пр}} = \frac{V}{F_{\text{max}}} \right)$ к наибольшему диаметру поковки $\frac{H_{\text{пр}}}{D_{\text{пок}}} = 0,15$. При величине этого отношения 0,05 и менее полученная характеристика стойкости штампа должна быть умножена на 0,7; при $\frac{H_{\text{пр}}}{D_{\text{пок}}} \geq 0,05 \div 0,1$ — соответственно на 0,8, а при $\frac{H_{\text{пр}}}{D_{\text{пок}}} = 0,3$ и более — на 1,2.

По данным Н. Г. Просвирова, с увеличением высоты заусенечной щели или уменьшением глубины полости штампа при постоянной высоте заусенечной щели (рис. 358) преобладающим видом износа штампа становится истирание вместо смятия. В обоих

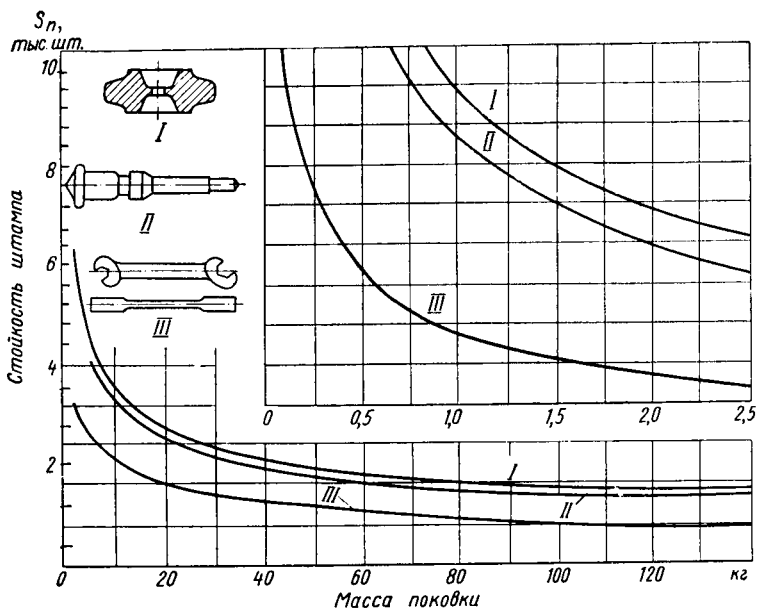
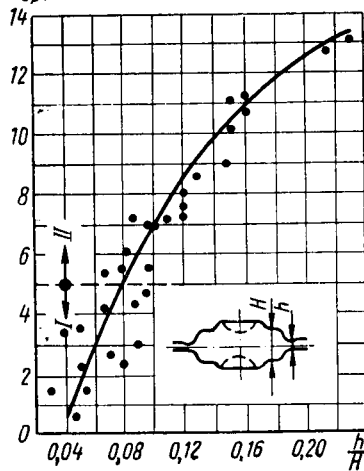


Рис. 357. Кривые стойкости молотовых штампов;
I—III — группы поковок

случаях при этом стойкость штампов повышается, но объем заусенца увеличивается. Экономический расчет позволяет сделать заключение в пользу того или иного решения.

Суммарная стойкость штампов до износа, выраженная числом снятых поковок

$S_{\text{ср}}, \text{ тыс. шт.}$



$$S_{\text{пок}} = \frac{zL}{l} \eta + z = z \left(\frac{L}{l} \eta + 1 \right), \quad (127)$$

где z — стойкость основного ручья штампа до переточки; L — общая допускаемая величина снятия металла при возобновлениях; l — толщина слоя металла, снимаемого при каждой переточке; η — коэффициент, учитывающий снижение относительной стойкости штампа после возобновления.

Рис. 358. Зависимость средней стойкости штампа $S_{\text{ср}}$ от отношения $\frac{h}{H}$:
I — область преобладающего износа смятием и II — истиранием

4. Способы изготовления и ремонта штампов

Штампы и их ручки изготавливают следующими способами: механической обработкой на станках, горячей и холодной штамповкой, электроискровой и электрохимической обработкой и литьем.

Для обработки штампов применяют станки: продольно- и поперечно-строгальные, сверлильные и радиально-сверлильные, фрезерные и копировально-фрезерные, с ручным управлением и автоматические (типа Келлера по копир-модели), плоско- и кругло-шлифовальные и координатно-расточные. Получают пространство копировально-фрезерные станки с многошпиндельными головками, а также программированная работа этих станков.

Современный режущий инструмент позволяет обрабатывать штампы в термически обработанном состоянии, что особенно эффективно для штампов, подверженных короблению.

Для экономии штамповой стали, сокращения времени на изготовление и установку штампов на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах применяют сборные штампы. При этом значительно облегчаются наладка и эксплуатация сложных штампов, так как для каждого ручья предусматривается отдельная вставка. Применение вставок в молотовых штампах усложнено, но целесообразно. Как правило, на многоручьевых сборных штампах устанавливают одну вставку с одним-двумя ручьями.

В молотовых штампах вставки закреплены в блоках с помощью горячей посадки (предварительный нагрев блока или охлаждение вставки в кислороде), а также клина или скользящей посадки. Известно также шариковое крепление вставок.

Размеры вставок определяются конфигурацией ручьев. Толщина призматических вставок $h_v \geq 2h_p$, но не менее $h_p + 30$ мм, длина $l_v \geq l_p + 2h_p$, ширина $b_v = b_p + 2h_p$ (h_p — максимальная глубина, l_p — длина и b_p — ширина ручья). Толщина стенки штампа должна быть $s \geq h_p$, но не менее 20 мм.

Для цилиндрических вкладышей: толщина $h_v \geq 1,5h_p$, но не менее $h_p + 25$ мм, диаметр $d_v \geq 2d_p$, но не менее $d_p + 20$ мм (d_p — диаметр ручья). Размер гнезда для вставок определяется размером вставок с учетом натяга, выбираемого по ОСТ 1042.

Для вставок применяют лучшие стали из используемых для горячих штампов. Применение вставок наиболее целесообразно для осесимметричных поковок с большим отношением высоты к диаметру.

Конструктивное оформление вставок и их крепление чрезвычайно разнообразны. Наиболее технологичным является клиновое крепление (рис. 359). Круглую вставку простейшей формы закрепляют через промежуточный вкладыш, что упрощает изготовление самой вставки (рис. 359, а). Для поперечной штамповки

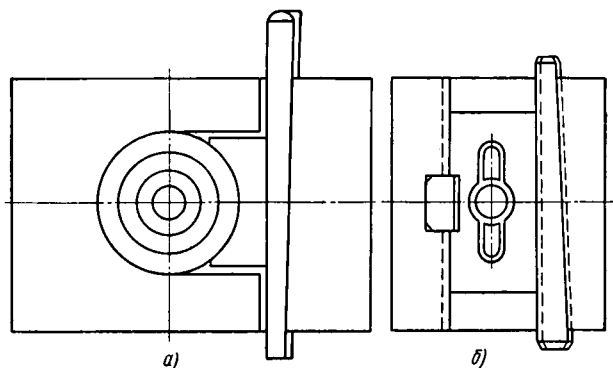


Рис. 359. Клиновое крепление в блоках вставок;

а — круглых; б — некруглых

применяют некруглые вставки. Надежное клиновое крепление вставки (рис. 359, б) без сухаря по типу крепления подштамповой подушки молотового штампа (см. рис. 188) вполне надежно. Кроме обычных клиньев для крепления вставок применяют клинья полукруглого сечения (плоская часть прилегает к вставке, а полукруглая — к выемке в штампе). Эти клинья не смещаются перпендикулярно своей оси.

Забивка и выбивка клиньев не представляет затруднений, если для этой цели применяют специальное пневматическое устройство.

Кроме экономии штамповой стали вставные штампы можно использовать в мелкосерийном производстве для повышения экономической эффективности штамповки, применяемой вместоковки. На рис. 360 изображен такой штамп для винтового фрикционного пресса. Верхняя часть 2 и нижняя часть 6 штампа являются постоянными деталями, а вставки 1, 3, 4 и 5 для каждой поковки — специализированными.

Торцовую деталь — вставку 1 закрепляют утапливающимся шариком с пружиной, аналогичная деталь — вставка 5 нижней

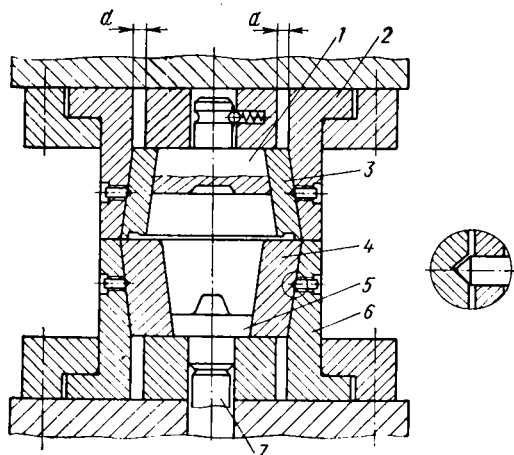


Рис. 360. Штамп с набором вставок для быстрой переналадки процесса штамповки

части штампа опирается на стержень 7 выталкивателя. Выточки боковых вставок 3 и 4 служат для болтового крепления их с натягом к дну паза (см. схему, справа, в кружке). Как отмечалось, групповая штамповка и применение быстропереналаживаемых штампов позволяют не только экономить на стоимости штампов, но и снижать критическую серийность штамповки (серийность, более которой затраты на штампы оправдываются).

Расход штамповой стали можно также уменьшить за счет следующего:

1) применения многотупной штамповки для небольших поковок; в штампе нарезают несколько фигур (можно для поковок разных наименований, если они из одной и той же стали);

2) применения изношенных вставок чистового перехода для вставок черногового перехода путем слесарной зачистки ручья и развала выходных радиусов; в этом случае каждую вставку используют дважды — сначала как окончательную, а затем как предварительную;

3) штамповки штампов, т. е. получения ручьев штампа путем выдавливания под прессом или на молотах с помощью мастер-штампа.

Применяют горячую и холодную штамповку штампов; горячую штамповку — для штампов с глубокими ручьями и сложной формы, холодную — для штампов с неглубокими ручьями без острых граней, тонких ребер, несимметричных углублений с большими уклонами (для ручьев с коническими зубчатыми и рифлеными формами). Холодная штамповка штампов более точна, обеспечивает лучшее качество поверхности, не требует нагрева штамповых блоков и упрощает процесс.

Принцип электроискрового изготовления ручьев штампов тот же, что и при электроискровой резке прутков (см. гл. II).

Электроискровой обработкой изготавливают штампы для поковок гаечных ключей, коромысла клапана автомобильного двигателя, вилки кардана, фитингов, болтов, рычагов, различного мелкого инструмента и пр. Электроискровой обработкой можно обрабатывать штампы любой твердости.

Литые штампы применяют для вкладышей и вставок и даже для цельных кубиков при штамповке небольших партий поковок. Стойкость их часто не уступает стойкости кованных штампов (особенно при штамповке крупных поковок).

В Чехословакии литые штампы получают путем погружения в расплавленную штамповую сталь мастер-штампа, охлаждаемого водой. Стойкость таких штампов больше стойкости обычных штампов в 1,5—2,5 раза, а стоимость их изготовления в 4—7 раз меньше, чем при механической обработке.

Срок службы штампов можно увеличить химико-термической обработкой (цементацией, азотированием, хромированием, борированием, покрытием молибденом, никелем, вольфрамом, сульфидированием), а также электроискровым упрочнением. Химико-

термической обработкой можно добиться улучшения свойств поверхности штампов, повышения усталостной и общей прочности металла. Улучшение пластичности поверхности способствует повышению разгаростойкости металла.

Одним из способов повышения стойкости штампов является наплавление их рабочей поверхности электродами со специальной обмазкой. Для наплавления используют преимущественно твердые сплавы типа стеллита, сталинита и т. п. Штампы, наплавленные стеллитом, не закаливают. При наплавлении стеллитом штамп должен иметь температуру не ниже 750°C . Стеллитом целесообразно наплавливать гладкие, цилиндрические и прямоугольные пуансоны, которые можно шлифовать на станках; матрицы, обрезные и вырубные штампы, у которых наплавливают только режущие кромки. Для наплавления изношенных штампов с последующей термической обработкой и без нее применяют специальные электроды. Поверхностная твердость слоя, наплавленного электродами, $HV\ 300\text{—}350$. Стойкость штампов, наплавленных электродами на стальной основе, заметно не повышается, а поэтому такое наплавление применяют только для восстановления изношенных штампов.

Наплавление электродами ЦС-1 и ЦС-2 на основе твердого сплава сормайт обеспечивает получение твердого слоя, свойства которого аналогичны стеллиту.

Наплавка твердыми сплавами значительно повышает также стойкость штампов для горячей обрезки заусенцев. Такие штампы обладают повышенной жаростойкостью и сопротивлением истиранию.

Когда штамп после ряда возобновлений путем строжки становится недопустимо низким, его обычно переплавляют. Для ремонта штампов, имеющих высоту меньше минимально допустимой, можно использовать электрошлаковую сварку с новым штамповым кубиком, у которого нарезан хвостовик (метод разработан в институте сварки им. Е. О. Патона). Кубик может быть изготовлен из инструментальной и даже из углеродистой стали.

Правильный выбор стали и уход за штампами, применение вставок, рациональный ремонт обеспечивают их высокую стойкость и относительно небольшой расход штамповой стали.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ПОКОВОК

При разработке технологического процесса изготовления поковок возникает необходимость в расчете экономической эффективности ряда возможных вариантов технологии и установлении наиболее экономичного варианта для данных производственных условий. Кузнечные цехи характеризуются специфическими особенностями, обуславливающими выбор оптимального варианта технологического процесса изготовления поковок. К их числу относятся высокая металлоемкость и энергоемкость процесса, значительная стоимость основного оборудования и технологической оснастки (штампов).

Расчеты эффективности капитальных вложений и новой техники определены специальной методикой, утвержденной Госпланом СССР, Госстроем СССР и АН СССР. Эта методика предусматривает определение общей (абсолютной) и сравнительной экономической эффективности. Для отдельных предприятий показателем общей эффективности служит отношение прибыли к капитальным вложениям $P : K$. При этом могут быть определены и сроки окупаемости вложений путем обратного соотношения приведенных величин. Показателем сравнительной экономической эффективности является минимум приведенных затрат при сопоставлении нескольких технически рациональных вариантов капитальных вложений или затрат на мероприятия по новой технике.

Понятие «новая техника» охватывает создание и внедрение в производство новых или усовершенствованных машин, технологических процессов, средств механизации и автоматизации, эффективной оснастки, передовых методов организации производства, а также мероприятий по унификации, стандартизации, модернизации, повышению надежности средств и продукции производства.

От выбора технологического процесса зависят количество расходуемого металла и трудоемкость механической обработки. Затраты на металл достигают 60—80% от себестоимости поковки. Следовательно, совершенствование технологии производства поковок в первую очередь связано с сокращением количества металла, расходуемого на них.

Оценку экономической эффективности новой технологии, выбор наиболее экономического варианта производства деталей из поковок осуществляют с помощью сравнительного анализа технико-экономических показателей (стоимостных и натуральных). Необходимость использования нескольких показателей обусловлена разнообразием решаемых задач (выбор наиболее эффективного варианта технологии, определение годовой экономии от ее внедрения и установление влияния новой технологии и т. п.).

Стоимостные показатели являются главными при оценке экономической эффективности: себестоимость производства, годовой экономический эффект и срок окупаемости дополнительных затрат на приспособления, механизмы и т. п.

В состав натуральных показателей кузнечного производства входят коэффициент использования металла, трудоемкость изготовления поковок и деталей, а также показатели, характеризующие расход энергии, топлива, инструмента и некоторые другие. Расчет и анализ натуральных показателей позволяют оценить отдельные преимущества и выявить недостатки вариантов новой технологии.

Величинами, используемыми для сопоставимости отдельных показателей, являются одинаковые объемы производства для сравниваемых технологических вариантов и одинаковые цены, тарифы и т. д.

Критерием при выборе наиболее экономического варианта технологического процесса в заданных условиях служит сумма приведенных затрат, определяемая для каждого из сравниваемых вариантов производства. Этот показатель позволяет наиболее правильно оценить преимущества и недостатки каждого варианта в области экономии эксплуатационных расходов и экономии капитальных вложений.

Расчет приведенных затрат определяют по формулам:

$$Z = K + O_n C \text{ или } Z = c + E_n k, \quad (128)$$

где Z — приведенные затраты, руб.; C — себестоимость годовой продукции, руб.; c — то же на единицу продукции; K — капитальные вложения, руб.; k — то же на единицу продукции; O_n — отраслевой нормативный срок окупаемости капитальных вложений; E_n — отраслевой нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

В машиностроении приняты следующие значения $E_n = 0,3$ для новых технологических процессов, частичной механизации и автоматизации; $E_n = 0,2$ для принципиально новых технологических процессов, для комплексной механизации и автоматизации.

Наиболее экономичный вариант технологического процесса должен иметь минимальную сумму приведенных затрат. Экономическая эффективность, связанная с использованием нового технологического процесса, определяется как разность между сум-

мами приведенных затрат по существующему и внедряемому вариантам производства или для сравниваемых вариантов по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = [(c_1 + E_n k_1) - (c_2 + E_n k_2)] N, \quad (129)$$

где $\mathcal{E}$ — годовой экономический эффект, руб.; c_1, c_2 — себестоимость детали (поковки) до и после внедрения технологического процесса или по вариантам, руб.; k_1, k_2 — удельные капитальные вложения на производство детали (поковки) до и после внедрения технологического процесса или по вариантам, руб.; N — годовой объем производимой продукции (поковок, деталей) после внедрения усовершенствованного технологического процесса, шт.

В расчетах экономической эффективности наибольшие трудности обычно связаны с определением себестоимости продукции.

Следует выполнять экономические расчеты всего процесса изготовления детали, включая и механическую обработку. Расчет себестоимости поковок можно ограничиться только в том случае, если сопоставляемые процессы обеспечивают одинаковые массу, форму и размеры поковок, т. е. одинаковый объем механической обработки. Как будет показано, одним из главных показателей низкой себестоимости деталей является незначительный объем механической обработки. Это объясняется экономией металла и тем, что трудоемкость механической обработки 1 кг металла в десятки раз выше трудоемкости кузнечно-штамповой обработки 1 кг металла, причем чем позже по ходу технологического процесса удаляется металл в отход, тем больше относительные стоимостные потери на единицу массы металла.

Следует иметь в виду, что отход в кузнечном цехе в виде донной и прибыльной частей слитков по существу является отходом сталеплавильного, а не кузнечного цеха. Аналогично отходы при черновой (грубой) механической обработке, при которой удаляется поверхностный слой металла, ставший дефектным на предыдущих стадиях обработки, являются отходами кузнечного цеха. Типичный отход механической обработки, необходимый для получения заданного качества поверхности и точности размеров детали, относительно небольшой и определяется припуском на шлифование и более точную обработку. Основная масса стружки в механическом цехе является результатом низкой точности кузнечно-штамповочного производства, т. е. больших фактических припусков и напусков при ковке, штамповке.

Существуют два основных способа расчета себестоимости: детальный расчет по элементам затрат и по укрупненным нормативам.

В первом случае при оценке экономической эффективности затраты по всем статьям себестоимости определяют прямым подсчетом. Величина затрат по каждому элементу себестоимости находится в зависимости от соответствующих параметров операции или процесса: штучного времени изготовления поковки (де-

Расчет элементов затрат себестоимости

Статья затрат	Расчетная формула	
	На одну поковку	За 1 мин работы оборудования
Основные материалы (металл)	$c_m = G_p \Pi_m - G_0 \Pi_0$ где c_m — затраты на металл, коп.; G_p — норма расхода металла, кг; G_0 — масса отходов, кг; Π_m — цена 1 кг металла, коп.; Π_0 — цена 1 кг отходов, коп.	
Заработная плата производственных рабочих с начислениями и дополнительной заработной платой	$З_p = P_{бр} k_1 k_2$ где $З_p$ — заработная плата бригады, коп.; $P_{бр}$ — расценка за 1 шт., коп; k_1 — коэффициент дополнительной заработной платы; k_2 — коэффициент начислений на заработную плату; $T_ч$ — часовая тарифная ставка (рабочего), коп.	$З_p = \frac{T_ч k_1 k_2}{60}$
Амортизация оборудования	$З_a = \frac{C_{об} \cdot 1,15 \cdot A_{п}}{F_d \cdot 600 \cdot 100} t_{шт.}$ где $З_a$ — затраты на амортизацию, коп.; $C_{об}$ — стоимость оборудования, руб.; 1,15 — коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и транспортирование оборудования; F_d — действительный фонд времени работы оборудования, ч; $t_{шт.}$ — штучное время, мин; $A_{п}$ — установленный процент амортизационных отчислений	$З_a = \frac{C_{об} \cdot 1,15 \cdot A_{п}}{F_d \cdot 600 \cdot 100}$
Текущий ремонт оборудования	$З_p = \frac{HR \cdot 60}{\Pi_ч}$ где $З_p$ — затраты на ремонт, коп.; H — нормативные затраты на текущий ремонт единицы ремонтной сложности оборудования, коп. (мин); R — коэффициент ремонтной сложности; $\Pi_ч$ — часовая производительность, шт.	$З_p = HR$
Технологическое топливо (газ)	$З_т = n_{р.г} m_{заг} \Pi_г$ где $З_т$ — затраты на технологическое топливо, коп.; $n_{р.г}$ — норма расхода газа на нагрев 1 кг заготовок, м³; $\Pi_г$ — цена 1 м³ газа, коп.; $m_{заг}$ — масса заготовки, кг; $t_{шт.}$ — штучное время, мин.	$З_т = \frac{n_{р.г} m_{заг} \Pi_г}{t_{шт.}}$

Статья затрат	Расчетная формула	
	На одну поковку	За 1 мин работы оборудования
Двигательная энергия, пар, сжатый воздух, электроэнергия	$З_{п.в} = \frac{n_{р.п} \Pi_{п} k_{п}}{n_{ч}},$ $З_{эл} = \frac{NK_{э} \Pi_{эл}}{\Pi_{ч}},$ где $З_{п.в}$ — затраты на пар или сжатый воздух, коп.; $n_{р.п}$ — часовой расход пара или сжатого воздуха, м³/ч; $k_{п}$ — коэффициент, учитывающий потери пара в трубопроводе; $\Pi_{п}$ — цена 1 м³ пара или сжатого воздуха, коп.; $З_{эл}$ — затраты на двигательную электроэнергию, коп.; $\Pi_{эл}$ — цена 1 кВт·ч, коп.; N — установленная мощность, кВт·ч; $K_{э}$ — коэффициент использования оборудования по мощности и времени	$З_{п.в} = \frac{n_{р.п} \Pi_{п} k_{п}}{60},$ $З_{эл} = \frac{NK_{э} \Pi_{эл}}{60},$
Сжатый воздух для обдувки штампов	$З_{об} = \frac{P_{с.в} \Pi_{с.в}}{\Pi_{ч}},$ где $З_{об}$ — затраты на сжатый воздух для обдувки штампов, коп.; $P_{с.в}$ — расход сжатого воздуха, м³/ч, скорректированный на время работы оборудования; $\Pi_{с.в}$ — цена 1 м³ сжатого воздуха, коп.	$З_{об} = \frac{P_{с.в} \Pi_{с.в}}{60},$
Наладка штампов	$З_{н} = \frac{T_{ч} t_{н} n}{\Pi_{с}},$ где $t_{н}$ — время наладки, ч; n — число наладок за смену; $З_{н}$ — затраты на наладку, коп.; $T_{ч}$ — часовая тарифная ставка бригады наладчиков, коп.; $\Pi_{с}$ — выпуск в смену, шт.	$З_{н} = \frac{T_{ч} t_{н} n}{60},$
Штампы	$З_{ш} = \frac{C_{изг} + n_1 C_{вос}}{T_{изн}},$ где $З_{ш}$ — затраты на штампы до полного износа, коп.; $C_{изг}$ — стоимость изготовления штампа, руб.; $C_{вос}$ — стоимость восстановления штампов, руб.; n_1 — число восстановлений; $T_{изн}$ — суммарная стойкость до полного износа, шт.	

тали), установленной мощности оборудования, времени работы оборудования и т. д.

Поэлементный способ определения затрат позволяет достаточно точно установить себестоимость поковки или детали для каждого варианта технологического процесса (табл. 44).

Себестоимость поковки $c_{п}$ включает затраты: на металл $c_{м}$; основную и дополнительную заработную плату производственных рабочих $З_{п}$, амортизацию оборудования $З_{а}$, на текущий ремонт

оборудования Z_p , на технологическое топливо Z_t , на пар (воздух) для молотов $Z_{пв}$, на электроэнергию для прессов и $Z_{эл}$, на обдувку штампов $Z_{об}$, на наладку штампов Z_n и затраты на штампы $Z_{ш}$:

$$c_n = c_m + Z_n + Z_a + Z_p + Z_t + Z_{пв} + Z_{эл} + Z_{об} + Z_n + Z_{ш}.$$

При сопоставительном расчете себестоимости детали дополнительно учитывают изменяющиеся затраты при механической обработке: основная заработная плата рабочих механического цеха, затраты на инструмент и затраты, связанные с эксплуатацией станочного оборудования.

При укрупненных расчетах себестоимости поковок (деталей) используют нормативную величину затрат, связанных с эксплуатацией кузнечного и металлорежущего оборудования, или нормативные затраты, связанные с обработкой единицы массы металла.

В первом случае рассчитывают по формуле

$$c_n = c_m + Z_{пн} + Z_{ш} + Z_{эк} t_{шт};$$

соответственно себестоимость детали

$$c_d = c_m + Z_{пн} + Z_{ш} + Z_{эк} t_{шт} + Z_{пз} + Z_n + Z_{эм} t_{штз},$$

где $Z_{эк}$ — нормативная величина затрат, связанная с эксплуатацией оборудования, коп. за 1 мин.; $Z_{эм}$ — нормативная величина затрат, связанная с эксплуатацией металлорежущего оборудования, коп. за 1 мин.; $t_{шт1}$, $t_{шт2}$ — соответственно штучное времяковки, штамповки и механической обработки, мин; Z_n — затраты на инструмент при механической обработке; $Z_{пн}$, $Z_{пз}$ — соответственно заработная плата за изготовление поковок и детали.

Так как стоимость металла составляет наибольшую часть от себестоимости детали, то целесообразно более подробно рассмотреть действительный расход металла с учетом отходов на различных стадиях изготовления детали.

В общем случае затраты на металл c_m можно выразить в виде следующего двучлена:

$$c_m = c_p - c_o = G_p \Pi_m - G_o \Pi_o, \quad (130)$$

где c_p — стоимость расчетного количества металла, коп.; c_o — стоимость отходов, коп.; G_p — расчетное количество металла на заготовку, кг; Π_m — цена 1 кг исходного металла, коп.; G_o — масса отходов, кг; Π_o — цена 1 кг отходов металла, коп.

Анализ разностного выражения стоимости металла c_m на одну поковку может привести к неправильному заключению о том, что чем больше отходов, тем ниже себестоимость. На самом деле фактическая величина отходов не должна быть меньше предусмотренной при определении G_p во избежание увеличения механической обработки поковок. Если при ковке, штамповке удастся уменьшить отходы на некоторую величину, то это должно сопровождаться одновременным уменьшением G_p на ту же величину.

Только при таком условии уменьшение отходов экономически целесообразно. Для того чтобы правильно понять роль отходов, следует увязать стоимость металла с коэффициентом его использования $K_{\text{исп}} = \frac{G_d}{G_o}$ (где G_d — масса одной детали, кг) и с потерями в связи с общим количеством отходов и их более низкой ценой по сравнению с исходным металлом. Эту величину можно представить как разность между ценой металла Π_m и ценой отходов Π_o (на единицу массы):

$$\Delta \Pi = \Pi_m - \Pi_o.$$

Тогда выражение для c_m — переписывается в следующем виде:

$$c_m = G_p \Pi_m - (1 - K_{\text{исп}}) G_p \Pi_o, \quad (131)$$

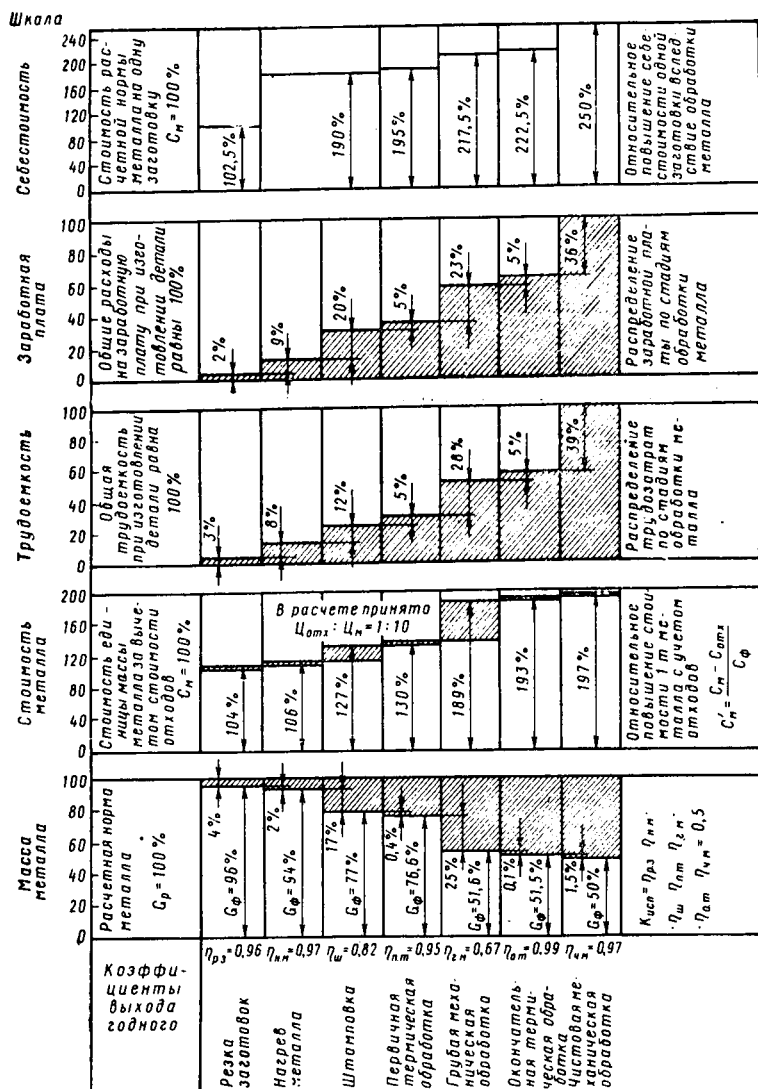
откуда

$$c_m = G_p (\Delta \Pi + K_{\text{исп}} \Pi_o) = G_d \left(\frac{\Delta \Pi}{K_{\text{исп}}} + \Pi_o \right). \quad (131')$$

Проанализируем выражение (131'). При $K_{\text{исп}} = 1$ действительно равенство $G_d = G_p$, и тогда $c_m = G_d \Pi_m$. Чем выше коэффициент использования металла, тем ниже себестоимость детали, поскольку величина G_p уменьшается. При $\Pi_o = \Pi_m$ (в случае использования отходов при изготовлении продукции) $c_m = G_p \Pi_m$. При уменьшении стоимости исходного металла Π_m или массы заготовки G_p себестоимость уменьшается.

В формуле (131') отходы суммированы (обезличены), а стоимость их усреднена. Однако имеет значение распределение отходов по различным стадиям процесса изготовления детали и характер этих отходов. На рис. 361 видно, как возрастают отходы по маршруту металла (нижняя часть графика) и как при этом увеличивается себестоимость будущей детали (верхняя часть графика). Для большей наглядности расчетная норма металла на программу, так же как и стоимость металла, принята равной 100%. Цифры по отходам соответствуют промышленным данным для штампованных поковок массой 1—10 кг при общем коэффициенте использования металла 0,5.

В рассмотренном примере при $\Pi_o/\Pi_m = 0,1$ масса детали становится меньше расчетной нормы на 50%, т. е. в 2 раза. При этом стоимость металла деталей снижается всего на 5% и составляет $c_m - c_o = 0,95 c_m$, а на единицу массы его стоимость повышается до 197% (см. снизу вторую диаграмму на рис. 361). Линии повышения относительной стоимости металла и увеличения себестоимости полуфабриката (в соответствии с долей заработной платы, увеличением трудо- и энергозатрат и т. п.) имеют ступенчатый характер. Если принять стоимость металла равной 100% (см. верхнюю диаграмму), то стоимость детали составит 250%. Таким образом, стоимость передела составляет 150% от первоначальной стоимости металла.



На рис. 361 показано также увеличение расходов на заработную плату и нарастание трудозатрат при изготовлении деталей. На стадии получения поковок себестоимость составляет 190%, а стоимость передела соответственно 90%.

Большое влияние на величину себестоимости оказывает величина и характер отходов. Их можно подразделить на первич-

ные — непосредственно получающиеся на каждой стадии производства, и вторичные, удаляемые на последующих стадиях. Так, заусенцы это первичные отходы при штамповке, а стружка — вторичные отходы производства поковок. Отходы подразделяют на непосредственно используемые для продукции, утилизируемые в металлургическом производстве и не утилизируемые (например, окалина на некоторых заводах). Самые низкие потери от отходов получают в тех случаях, когда их удается использовать для изготовления основной или дополнительной продукции (отходы по некратности при разделке заготовок, концевые отходы, перемычки и т. п.). Наибольшие потери связаны либо с превращением металла в окислы (окалины), либо в стружку (при механической обработке на последних стадиях изготовления детали). Эти отходы, как и другие обрезки (заусенцы и т. п.), используют в металлургическом производстве. Окалину используют только в крупных кузнечных цехах, где ее имеется большое количество. Объем отходов регламентируется величиной $K_{исп} = \frac{G_p - G_o}{G_p}$.

Для того чтобы проследить, как влияет увеличение количества отходов и снижение их цены на повышение себестоимости единицы массы готовых деталей приведена табл. 45, которая представляет собой сводку данных ЭВМ, полученных при расчете коэффициента повышения стоимости деталей по формуле

$$K_{пов} = \frac{G_p U_m}{G_p U_m - G_o (U_m - U_o)} = \frac{1}{K_{исп} + K_{о.с.о} (1 - K_{исп})}. \quad (132)$$

Если отходов мало, то относительная их цена оказывает незначительное влияние на стоимость единицы массы металла деталей (сравните изменение цифр верхних строчек таблицы). Большое влияние оказывает цена отходов при низких коэффициентах использования металла (см. нижние строчки таблицы).

Таблица 45

Коэффициент повышения стоимости деталей $K_{пов}$ в зависимости от коэффициентов использования металла и относительной стоимости отходов

Коэффициент использования металла $K_{исп} = \frac{G_d}{G_p}$	Относительная стоимость отходов $K_{о.с.о} = U_o : U_m$			
	1:10	1:5	1:3	1:2
0,8	1,22	1,20	1,16	1,12
0,7	1,38	1,34	1,28	1,21
0,6	1,60	1,53	1,43	1,33
0,5	1,90	1,80	1,66	1,50
0,4	2,35	2,20	2,00	1,75
0,3	3,10	2,86	2,55	2,16

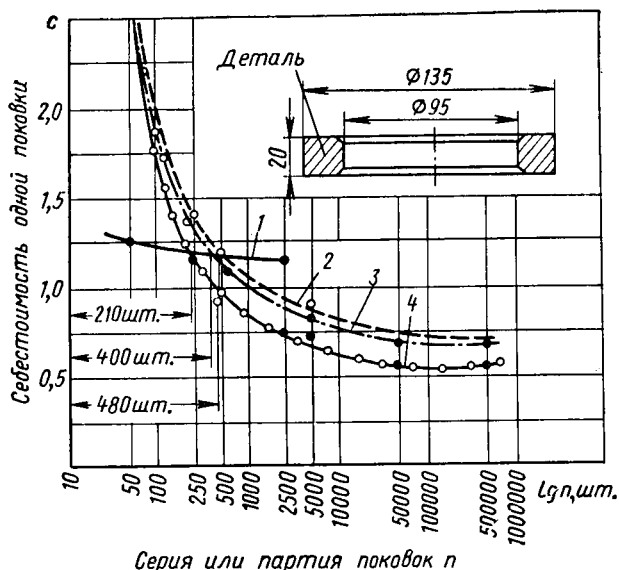


Рис. 362. Себестоимость единицы стальной поковки кольца в зависимости от способа изготовления и величины серии (партии) выпуска поковок:

1 — ковкой по 2 шт.; 2 — штамповкой на молоте в открытом штампе; 3 — то же на кри-вошипном горячештамповочном прессе; 4 — на горизонтально-ковочной машине в закрытом штампе

Особенно большая интенсивность роста стоимости металла при $K_{исп} = 0,5$ и менее. Себестоимость продукции зависит также от величины программы производства поковок.

Сопоставление расчетов себестоимости и приведенных затрат в зависимости от величины серийности выпуска поковок для разных технически приемлемых способов их изготовления позволяет выявить наиболее рациональный вариант технологии и величину оптимальной программы производства.

Для того чтобы решить, какому способу изготовления поковок следует отдать предпочтение — ковке или штамповке, можно воспользоваться формулой М. Г. Златкина для определения минимального числа деталей, при котором штамповка становится экономичной:

$$N_{min} = \frac{Q_{ш} + 3_n}{(c_k + c_{м.к}) - (c_{ш} + c_{м.ш})}, \quad (133)$$

где $Q_{ш}$ — стоимость штампов, руб.; 3_n — затраты на наладку; c_k — себестоимость одной кованной поковки с учетом термической обработки, руб.; $c_{м.к}$ — себестоимость механической обработки кованной поковки, руб.; $c_{ш}$ — себестоимость одной штампованной поковки с учетом термической обработки, руб.; $c_{м.ш}$ — себестоимость механической обработки штампованной поковки.

На рис. 362 показаны кривые, характеризующие себестоимость поковки кольца, в зависимости от серии выпускаемых поковок при различных вариантах технологического процесса. Наиболее целесообразным процессом для данных поковок является штамповка их на горизонтально-ковочной машине и наименее целесообразным — штамповка на молоте. В первом случае отсутствует разрезка заготовок, штампуют несколько поковок с одного нагрева. При этом незначительные отходы из-за отсутствия заусенцев и высокая производительность обеспечивают наиболее низкую себестоимость поковок. Точки пересечения кривых характеризуют критические серийности — величину серии, при которой себестоимость поковок одинакова.

Из рассмотрения кривых следует, что ковка целесообразна лишь при условии, когда партия поковок не превышает 210 шт. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах рентабельна, когда партия поковок более 210 шт. Штамповка на кривошипном прессе экономически более целесообразна, чем свободная ковка, если серийность не меньше 400 шт. поковок, для штамповки на молоте — 480 шт.

Условность критической серийности в ее конкретности. Если, например, повышается стоимость металла поковки, то критическая серийность понижается; напротив, использование более дорогой оснастки без увеличения ее стойкости приводит к увеличению критической серийности. При изготовлении поковок колец из некоторых сплавов критическая серийность снижается до 30—50 шт.

При увеличении массы поковок из углеродистой стали от 0,5 до 10 кг критическая серийность перехода отковки к штамповке уменьшается с 300 до 10 шт.

Для установления зависимости себестоимости от величины программы выпуска и для упрощения расчетов все статьи затрат себестоимости подразделяют на две группы: 1 — переменные расходы A , изменяющиеся пропорционально величине программы выпуска n ; 2 — условно-постоянные B , не зависящие практически от объема производства. К первым относят стоимость металла, заработную плату производственных рабочих, все виды производственной энергии и топлива, отнесенные к одной детали; ко вторым — стоимость штампов, наладку оборудования и остальные общехозяйственные расходы (отопление, освещение, амортизацию зданий, основную заработную плату ИТР и др.). Тогда себестоимость одной детали составляет

$$c_d = A + \frac{B}{n}; \quad (134)$$

это уравнение представляет собой гиперболическую кривую. Для графического построения такой зависимости необходимо произвести значительное число расчетов. Если выразить себестоимость всей программы выпуска через $C = c_d n$, то

$$C = A \cdot n + B, \quad (135)$$

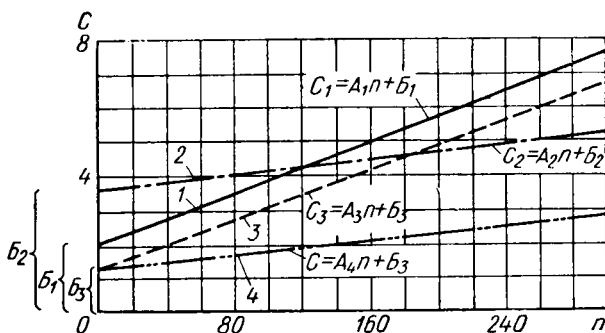


Рис. 363. Зависимость себестоимости от величины n -партии (серии) деталей

это уравнение прямой линии в координатах «стоимость программы выпуска деталей — величина программы выпуска». При построении таких графиков расчеты значительно упрощаются, так как достаточно определить две точки прямой. Указанным способом удобно анализировать целесообразность использования тех или иных приспособлений, конструкций штампов, новые марки стали для них и т. п. Пересечение прямых, соответствующих себестоимости партии поковок при штамповке новым (прямая 2) и обычным (прямая 1) способами (рис. 363), покажет величину критической серийности производства.

В случае, рассмотренном на рис. 363, условно-постоянные расходы увеличились с B_1 до B_2 , но себестоимость при числе деталей более 120 шт. снижается за счет уменьшения переменных расходов. Это имеет место при заменековки штамповкой или при переходе к использованию более совершенного, но дорогостоящего штампа, который обеспечивает повышение выхода годного. Подобный анализ себестоимости при различных вариантах технологических процессов изготовления поковок, выполненный на УЗТМ, показал, что с увеличением массы поковок критическая серийность программы уменьшается. С увеличением легированности стали, используемой на поковки, критическая серийность также уменьшается. Если условно-постоянные затраты уменьшаются (например, с B_1 до B_3), а переменные расходы остаются без изменения (прямая 3), то новый процесс будет рентабелен при любой серийности производства. Еще более целесообразен процесс, при котором сокращаются условно-постоянные и переменные расходы (прямая 4). В этом случае прямые линии не пересекаются в поле графика.

Наибольший эффект в снижении себестоимости получается при увеличении выхода годного (или коэффициента использования металла), так как статья расходов на металл намного превышает любую другую статью расхода при производстве деталей машин. Поскольку с увеличением выхода годного уменьшается и

критическая серийность, то применять, например, штамповку становится экономически целесообразно при тем меньшей серийности производства, чем больше коэффициент использования металла и выше его стоимость.

В табл. 46 приведены данные по отходам металла в автотракторном производстве. Из таблицы видно, что общие отходы при изготовлении деталей из штампованных поковок достигают 50% и более, причем наибольшее количество отходов связано с образованием заусенцев (до 18%) и стружки (до 29,6%). В некоторых других отраслях машиностроения эти отходы достигают еще больших размеров.

Ранее (см. табл. 2) было показано, что при производстве деталей из кованых поковок (изготовленных из катаного металла) отходы в заусенец отсутствуют, но большие припуски, напуски и допуски приводят к увеличению отходов в стружку. Если коэффициент использования металла при ковке и штамповке оказывается даже одинаковым, то себестоимость деталей из штампованных поковок всегда более низкая за счет меньших стоимостных потерь на отходы на более ранних стадиях производства.

Расчеты по определению целесообразного варианта изготовления поковок и критических серийностей производства значительно усовершенствованы. Для упрощения этих расчетов созданы нормативные материалы, которые облегчают учет многочисленных переменных статей расхода. В промышленности используют нормативы по удельным нормам расхода металла, технологического топлива, энергии, пара, сжатого воздуха и другим элементам цеховых расходов. Аналогичные материалы разработаны и для

Таблица 46

Баланс металла при изготовлении деталей автомобилей и тракторов
(в %)

Тип машины	Отходы						Итого	Масса поковок	Отход в стружку	Масса деталей	Всего отходов	Расход металла
	При разделке прутков на заготовки		При штамповке									
	Отрезка	Некратность	Заусенцы и перемычки	Клещевина	Угар	Прочие отходы						
ГАЗ-51	0,92	0,85	17,4	2,42	3,02	0,89	25,5	74,5	19,7	54,8	45,2	100
ЗИЛ-130	1,4	2,0	17,0	4,3	2,5	0,8	29,2	70,8	21,8	49,0	51,0	100
ГАЗ-63	0,8	1,3	13,6	1,8	2,7	0,94	21,2	78,2	26,7	52,1	47,9	100
Трактор ДТ-54	2,43	1,7	18,0	0,84	2,9	1,0	27,2	72,8	21,8	51,0	49,0	100
Трактор КД-35	0,14	0,4	12,6	4,0	2,2	0,5	20,4	79,6	29,6	50,0	50,0	100

других элементов затрат, например для себестоимости часа работы основного оборудования, для расходов на заработную плату производственных рабочих, двигательной энергии, текущего ремонта оборудования, амортизационных отчислений, затрат на штампы и др. Соответствующие данные можно найти в справочной и специальной литературе по экономическим вопросам.

При среднесерийном и крупносерийном производстве возникает необходимость в разделении годовой серии поковок на отдельные партии. Для кузнечно-штамповочных цехов целесообразнее изготавливать всю годовую серию поковок непрерывно, без разделения на партии. С общезаводских позиций этого сделать нельзя вследствие замедления оборачиваемости средств, вложенных в металл, необходимости в годовом запасе металла на складах (вместо двух-, четырехнедельного) и в промежуточных складах для хранения полуфабрикатов и т. д. Обычно разбивка на партии согласуется с производительностью следующих по потоку цехов и со стойкостью штампов. Для небольших серий и мелких поковок допускают запас металла, определяемый их квартальной партией. Вообще же оптимальные партии должны рассчитывать исходя из экономической целесообразности подобно тому, как определяют минимальную серийность производства.

Один из наиболее ответственных экономических расчетов состоит в определении окупаемости дополнительных капиталовложений K_1 , K_2 и т. д. по сравниваемым вариантам технологии. Капитальные затраты, связанные с внедрением новых технологических процессов или с их модернизацией, определяют объемом затрат на новое, дополнительное и реконструированное оборудование, штампы и приспособления. Дополнительные капиталовложения представляют собой разность общих капиталовложений по сравниваемым вариантам, т. е. $K_d = K_1 - K_2$. Дополнительные капиталовложения определяют как сумму $K_d = K_n + Q_n$ новых капиталовложений K_n и потерь, связанных с ликвидацией ненужного оборудования Q_n , т. е.

$$Q_n = K_n - (\sum T - P) - K_n, \quad (136)$$

где K_n — первоначальная стоимость снимаемого оборудования, руб.; $\sum T$ — сумма производственных амортизационных отчислений, руб.; P — затраты на капитальный ремонт за время эксплуатации снимаемого оборудования, руб.; K_n — стоимость снимаемого оборудования (по цене с учетом степени износа или по цене лома, если изношенные машины идут в переплав).

Эффективность использования дополнительных капиталовложений оценивают сравнением их с годовой экономией или прибылью вследствие снижения себестоимости. Срок окупаемости определяют как отношение

$$O = \frac{K_d}{\mathcal{E}}. \quad (137)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки. Л., «Машиностроение», 1969, 175 с.
2. Березкин В. Г. Формоизменение металлов при обработке давлением. М., «Машиностроение», 1973, 151 с.
3. Ганаго О. А., Тарновский И. Я. Безоблойная штамповка на молотах. М.-Свердловск, «Машгиз», 1955, 85 с.
4. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. М., «Металлургия», 1967, 261 с.
5. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. М., «Металлургия», 1971, 422 с.
6. Журавлев А. З. Основы теории штамповки о закрытых ручьях. М., «Машиностроение», 1973, 185 с.
7. Золотников С. Л., Казакевич П. И., Михайлова В. Л. Техника безопасности и промышленная санитария в кузнечно-прессовых цехах. М., «Машиностроение», 1974, 296 с.
8. Использование радиоактивных изотопов в кузнечно-штамповочном производстве. Сб. Станкина № 6. Статья В. Т. Мещерина «Объемное дозирование заготовок под штамповку бесконтактными устройствами», М., «Машгиз», 1962, с. 5—22.
9. Камнев П. В. Совершенствованиековки крупных поковок. М., «Машиностроение», 1974, 341 с.
10. Ковка крупных поковок. Под ред. В. Н. Трубина и И. Я. Тарновского. М.-Свердловск, «Машгиз», 1962, 222 с.
11. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник. 2 тома. Под ред. М. В. Сторожева. Т. I. М., «Машиностроение», 1967, 435 с., Т. II, 1968, 448 с.
12. Крупин А. В., Соловьев В. Я. Пластическая деформация тугоплавких металлов. М., «Металлургия», 1971, 350 с.
13. Машины и технология обработки металлов давлением. Сб. МВТУ № 128. Вып. 9. Статья А. Г. Овчинникова «К вопросу об определении формоизменения и работы деформации при открытой штамповке». М., «Машиностроение», 1969, с. 181—188.
14. Норицын И. А., Власов В. И. Автоматизация и механизация технологических процессовковки и штамповки. М., «Машиностроение», 1967, 388 с.
15. Основы технологии кузнечно-штамповочного производства. М., «Металлургия», 1971, 312 с. Авт.: В. М. Аристов, Г. С. Сахаров, В. Н. Степанов, И. И. Иванов.
16. Охрименко Я. М., Тюрин В. А. Неравномерность деформации при ковке. М., «Машиностроение», 1969, 182 с.
17. Очерки истории техники в России (1861—1917), статья Я. М. Охрименко, О. М. Смирнова «Техника кузнечного производства». М., «Наука», 1973, с. 303—318.
18. Северденко В. П. Теория обработки металлов давлением. Минск, «Высшая школа», 1966, 223 с.
19. Семенов Е. И. Ковка и объемная штамповка. М., «Высшая школа», 1972, 350 с.
20. Совершенствование кузнечно-штамповочного производства. Под ред. П. В. Камнева и К. Н. Богоявленского, Л., «Машиностроение», 1971, 279 с.
21. Сторожев М. В., Попов Г. А. Теория обработки металлов давлением. М., «Машиностроение», 1971, 424 с.
22. Тарновский И. Я., Вайсбурд Р. А., Еремеев Г. А. Автоматизация проектирования технологии горячей штамповки, М., «Машиностроение», 1969, 240 с.
23. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов. М., «Металлургия», 1972, 408 с.
24. Унксов Е. П. Инженерная теория пластичности. М., «Машгиз», 1959, 980 с.
25. Эдуардов М. С. Штамповка в закрытых штампах. Л., «Машиностроение», 1971, 240 с.

А

- Автоматизация производства 510, 511
 — разработки технологического процесса 231—233, 470
 Анизотропия механических свойств 208, 369

Б

- Билетировка 135—138
 Блоки матриц 432, 436
 — пуансонов 433
 — штампов гибочных 483
 — штампов обрезных 444
 Бойки выпуклые 182
 — вырезные 174
 — комбинированные 174
 — молотовые 186
 — плоские 152, 186
 — прессовые 186, 187
 — радиусные (кругловырезные) 174, 177
 — разгоночные 200—202
 — ромбические 175, 177, 180, 181
 — специальные 178, 258
 Бочкообразование 144, 145

В

- Вальцовка многопереходная 434, 490
 — многоштанная 492
 — однопроводная 490
 Волокнообразование — Влияние на механические свойства 208—210
 — Стадии 207
 Вставки штамповые матриц 436
 — пуансонов 435
 Высадка при ковке 132
 — при штамповке 409
 Вытапливатели штампов молотовых 359, 361
 — обрезных 449
 — прессовых 384, 387, 407, 539

Г

- Гибка в штампах 351, 394, 428, 480
 — кузнечная 206
 — на гибочных машинах 487—493
 ГОСТ 2789—73 459
 ГОСТ 5950—73 527
 ГОСТ 6039—71 317, 366
 ГОСТ 7062—67 191, 204, 220, 234
 ГОСТ 7505—74 332, 333, 459
 ГОСТ 7829—70 204, 220, 222
 ГОСТ 8248—67 61

Д

- Дефекты вальцовки 498
 — гибки 488

556

- ковки 158, 165, 170, 202, 215, 248
 —ломки 67
 —нагрева металла 83
 —обрезки заусенцев 443, 448—450
 —прошивки 189, 422
 —раскатки 505
 —резки прутков 50
 —штамповки 324, 329, 331, 351, 372, 375, 386
 Деформация деталей пресса упругая 381
 — критическая 468
 Дозировка заготовок 65, 66, 462, 511
 Допуски на размеры поковок 219—222
 Допуски на размеры поковок кованых 222
 —штампованных 459
 Допуски на резку заготовок 81
 —на торцовые заусенцы 438

З

- Заготовка из проката — Определение размеров 457
 — Разновидность 47, 48
 — Способы получения — см. *Разработка технологии*
 — Масса при ковке 223
 — Масса при штамповке 461
 — Фасонирование 335, 339, 389, 469, 474
 Заусенец 263—265, 271—275, 442—448
 Зеркало 369, 370
 Знаки 333, 341

И

- Инструмент ковочный — см. также *Бойки*
 — Осадочные плиты 153
 — Пережимки 203
 — Прошивки 189, 190
 — Раскатки 203
 — Топоры 140, 141
 Интервал температурный допустимый 84, 104
 — ковочный 84, 87, 104
 — оптимальный 84, 88
 — штамповочный 87

К

- Кантовка 155, 158, 166, 349
 Карта технологическая 230, 235, 470
 Канавка заусенечная 150, 319, 389
 Классификация кузнечных операций 132—134
 — ножей 60
 — операций штамповочных 464, 465
 — поковок 131, 459

Ковка в подкладных штампах 255—257
— групповая 250
— на молотах 254—259
— на прессах 234—254
— радиальная 507
— ротационная 507
— Операции 132—134
— Переходы 169

Компенсаторы — см. *Штампы закрытые*

Коэффициенты выхода годного 223, 224
— загрузки оборудования 37, 473
— использования металла 30, 33, 549

— интенсивности уширения 159, 181
— масштабный 467

— перехода 158

— расходный 223

— уковки 135, 136, 160, 165, 176, 209—215, 224

Крест ковочный 216, 217

Л

Линии автоматические 511

— разъема штампа 324, 449

М

Макроструктура поковок 213

Масса падающих частей молота ковочного 225, 228, 229

— штамповочного 463, 468 — Применение 375

Матрицы 305, 418, 444, 525

Н

Нагрев металла безокислительный 112, 113

— индукционный 106, 107

— контактный 109

— неравномерный 102

— печной 88, 89, 93, 94

— скоростной 90

Наметка выемок 203

— выступов 203

— уступов 203

Напуски 263, 327, 392

Нормализация поковок 514

О

Обмазки 113

Оболочки 114

Обработка электронская 539

— электрохимическая 537

Окалина вторичная 111

— первичная 111

Отход металла 33, 272, 341

П

Пакет штамповый 383

Передача 205, 206

Плита подштамповая 383

Поковки кованные 219

— Очистка 459

— Правка 375, 448, 450

— Себестоимость 470, 544, 545

Припуски 221

Пробивка 132

Проектирование машинное 231—233

Прокладки для вставок 437

Протяжка 154—185

Протяжка на оправке 198, 199

Проходы 169

Прошивка 180, 189—193, 302

Пуансоны 303, 421, 447, 525

Р

Радиусы закругления 330

Разгонка 200—203

Раздача радиальная 404

Разработка технологииковки 219

— штамповки 457

Разрубка 138—142

Раскатка кузнечная 193—198

— на раскаточных машинах 503—507

Режим деформации 457

— охлаждения поковок 115—122

Ручьи штампов ГKM гибочные 428

— для трубных заготовок 425

— зажимные 428

— наборные 413

— обрезные 424

— отрезные 427

— пережимные 426

— плющильные 427

— пробные 423

— формовочные 417

Ручьи штампов молотов гибочные 351

— осадочные 340

— отрубной 354

— пережимные 352

— подкатные 349

— протяжные 346

— черновые 335

— чистовые 335

Ручьи штампов прессов выдавливающие 395

— гибочные 394

— осадочные полузакрытые 391

— пережимные 391

— плоскоосадочные 391

— формовочные 393, 394

— черновые 390

— чистовые 391

С

Серийность критическая 551,

— производства 471, 550

Скручивание 134

Слитки бесприбыльные 44

- кузнечные конверторные 237
- малопробильные 44
- полые 44
- специальные 245
- укороченные 44
- Смазки 113, 503, 534
- Сталь высоколегированная 209, 213
- инструментальная 526
- конструкционная 46
- углеродистая 46, 209

Т

Температураковки — см. *Интервал температурный*

- критическая 85, 87
- неравномерная 97
- Перепад 97, 117, 121
- Техника безопасности 473
- Типоразмеры оборудования 457
- Трещинообразование 120

У

Угол выреза бойков 175, 179

- кантовки 157, 246
- охвата заготовки 175
- Уклоны штамповочные 263, 327, 384
- Упоры штампов ГМК задние 439
- передние 440

Усадка поковок тепловая 461

Усилие ломки прутков 69

- осадки 226
- пресса 226, 466
- протяжки 227
- резки 61
- удельное 227, 468
- штамповки 467, 468

Утяжина 422

Ф

Фиксатор 492

Формовка 393, 394

Ч

Чертеж поковки ковальной 220

— штампованной 457

Ш

Шероховатость поверхности 459

Штамповка автоматизированная 511

- в вальцах 501
- в закрытых штампах на молотах 358
- в режиме сверхпластичности 311
- выдавливанием 395
- выдавливанием с активным трением 356
- жидкого металла 312
- изотермическая 308
- комбинированная 357, 484
- литых заготовок 478
- малоотходная 305, 361
- многоручевая 317

- многостручная 394
- на винтовых фрикционных прессах 399
- на гидравлических прессах 403, 404
- на гидровинтовых прессах 407
- на горизонтально - ковочных машинах 409, 442
- на кривошипных прессах двойного действия 409
- одноручевая 317
- от прутка 411, 474
- периодического проката 393, 477
- поперечная 317, 389
- продольная (торцовая) 317, 389
- профильного проката 474
- расчлененная 473
- секционная 482
- скоростная 306
- смещенная 481
- спаренная 393
- с противодавлением 257, 397
- Штампы — Восстановление 368, 539
- Выкрашивание 532
- Заточка 539
- Изготовление 537
- Износ 527
- Наплавка 540
- Обдувка 529
- Охлаждение 529
- Переточка 540
- Смазка 528, 533, 534
- Стойкость 532—536
- Термообработка 537
- Штампы быстросменные 538
- горизонтально - ковочных машин 440—442
- для выдавливания 299, 395, 404, 525
- закрытые 360, 402, 525
- калибровочные 523
- ковочных вальцов 525
- комбинированные 357, 455
- литые 539
- многоручевые 347, 356, 525
- молотовые 317, 340
- монолитные 525
- обрезные 444, 450
- одноручевые 525
- открытые 263, 317, 321
- последовательные 455
- прессовые 382
- сборные 525, 537
- скоростной штамповки 307
- с противодавливающим устройством 397, 405

Э

ЭВМ 3, 82, 234, 470—472, 549

Электровысадка 509

Эффективность производства 541—554

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3

ГЛАВА I

Развитие кузнечно-штамповочного производства

1. Древнерусский период	5
2. Дореволюционный период	8
3. Кузнечно-штамповочное производство СССР	28

ГЛАВА II

Исходные материалы и их подготовка дляковки, штамповки

1. Слитки, болванки, прутки	41
2. Разделка исходных материалов на заготовки	48
3. Точность разделки и отходы металла	80

ГЛАВА III

Термический режимковки и штамповки

1. Интервал ковочных температур	84
2. Типы нагревательных устройств и способы нагрева металла	88
3. Нагрев слитков	94
4. Нагрев заготовок	103
5. Термический режимковки и охлаждения металла	115
6. Согласование производительностей нагревательного и ковочного оборудования	122

ГЛАВА IV

Ковка слитков, болванок и прутковых заготовок (технология мелкосерийного производства поковок)

1. Общие сведения о кузнечном производстве	128
2. Кузнечные операции и применяемый инструмент	135
3. Влияниековки на металл	206
4. Содержание технологической разработки	219
5. Усовершенствованные технологические переходы и процессыковки	233

ГЛАВА V

Разновидности объемной штамповки

1. Общие сведения о штамповке поковок	260
2. Штамповка в открытых штампах	263
3. Штамповка в закрытых штампах	279
4. Штамповка выдавливанием	283
5. Прошивка в штампах	300
6. Штамповка в разъемной матрице	305
7. Скоростная штамповка	306
8. Изотермическая штамповка	308
9. Штамповка в режиме сверхпластичности	309
10. Штамповка металла в период кристаллизации	312
	559

ГЛАВА VI

Технология объемной штамповки (средне- и крупносерийное производство стальных поковок)

1. Штамповка на молотах	315
2. Штамповка на прессах	376
3. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	409
4. Обрезные операции	442
5. Содержание технологической разработки	457

ГЛАВА VII

Специализированное производство поковок (технология крупносерийного и массового производства поковок)

1. Общие положения	471
2. Специализация и рационализация подготовительных операций	474
3. Специализация окончательных операций	479
4. Специализированное производство поковок на оборудовании узкого назначения	487
5. Особенности технологии автоматизированной объемной штамповки	510

ГЛАВА VIII

Отделочные операции

1. Правка поковок	512
2. Термическая обработка поковок	513
3. Очистка поковок от окалины	514
4. Калибровка поковок	516

ГЛАВА IX

Штампы и их эксплуатация

1. Типы, материал и условия работы штампов	525
2. Износ штампов	527
3. Уход за штампами и их стойкость	532
4. Способы изготовления и ремонта штампов	537

ГЛАВА X

Экономическое обоснование способа производства поковок

Список литературы	555
Предметный указатель	556

Яков Михайлович ОХРИМЕНКО

ТЕХНОЛОГИЯ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор издательства Ю. Л. Маркиз
Корректор Ж. Л. Суходолова

Технический редактор Л. П. Гордеева
Переплет художника Л. С. Вендрова

Сдано в набор 2/VI 1975 г. Подписано к печати 29/XII 1975 г. Т-20851.
Формат 60×90/16. Бумага для глубокой печати. Усл. печ. л. 35,0.
Уч.-изд. л. 38,3. Тираж 20 000 экз. Заказ 356. Цена 1 р. 50 коп.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Монсеенко, 10