

Васильев Д. И.,
Тылкин М. А.,
Тетерин Г. П.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся
по специальностям «Машины
и технология обработки металлов
давлением» и «Обработка металлов
давлением»*



Москва «Высшая школа» 1984

ББК 34.623

В19

УДК 621.97

Рецензенты:

Кафедра обработки металлов давлением Ворошиловградского машиностроительного института (зав. каф. канд. техн. наук Р. И. Рей); канд. техн. наук *В. М. Кузьминцев* (Всесоюзный заочный машиностроительный институт)

Васильев Д. И., Тылкин М. А., Тетерин Г. П.

В19 Основы проектирования деформирующего инструмента: Учеб. пособие для металлургич. и машиностроит. спец. вузов.— М.: Высш. шк., 1984.— 223 с., ил.

В опр: 95 к.

В пособии рассмотрены конструктивные особенности, вопросы стойкости и виды износа штампового инструмента для горячего и холодного деформирования металлов и сплавов. Уделено большое внимание выбору материалов, способам упрочняющей обработки и восстановления инструмента. Приведены основные принципы создания и укрупненные алгоритмы САПР штампов.

2703000000—369

В — 001(01)—84 — 147—84

**ББК 34.623
6П4.2**

© Издательство «Высшая школа», 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время отсутствуют руководства, комплексно рассматривающие вопросы конструирования, изготовления, эксплуатации и повышения стойкости деформирующего инструмента, применения для этих целей систем автоматизированного проектирования (САПР). Авторы поставили перед собой задачу в определенной мере восполнить имеющийся в этой области пробел.

В гл. 1—6 пособия дан материал, который может быть использован в качестве справочного как при традиционном проектировании штампов для горячего и холодного деформирования металлов и сплавов, так и при создании САПР. Гл. 7 пособия посвящена описанию укрупненных алгоритмов САПР штампов и опыту их использования.

Авторы отдают себе отчет, что в настоящем пособии не удалось последовательно и достаточно подробно изложить все аспекты проблемы автоматизированного проектирования деформирующего инструмента в связи с ограниченным объемом издания, а также в связи с тем, что САПР начали интенсивно создаваться и использоваться только в последние годы и еще не имеется достаточного опыта преподавания этих вопросов в высших учебных заведениях.

При составлении учебного пособия авторы обобщили результаты собственных исследований и разработок, а также использовали материалы работ, выполненных Е. И. Бельским, А. Н. Брюхановым, Ю. А. Геллером, А. Г. Гривачевским, С. А. Довнаром, Я. М. Охрименко, Е. А. Поповым, Л. А. Позняком, А. В. Ребельским, А. М. Рогалевым, Ю. М. Скрынченко, С. И. Тишаевым, Т. Алтаном (США), С. К. Бисвасом и В. А. Найтом (Великобритания) и др. В книге нашел отражение передовой опыт работы кузнечно-штамповочных производств ведущих заводов страны: Волжского и Горьковского автомобильных, Минского, Челябинского, Волгоградского тракторных, Лозовского кузнечно-механического, Чебаркульского металлургического.

Авторы выражают благодарность рецензентам: кафедре обработки металлов давлением Ворошиловградского машиностроительного института и преподавателю Всесоюзного заочного машиностроительного института В. Н. Кузьминцеву — за ценные советы и предложения.

Замечания и пожелания по улучшению книги просим направлять по адресу: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная, 29/14, издательство «Высшая школа».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

В решениях XXVI съезда КПСС, ноябрьского (1982 г.) и июньского (1983 г.) Пленумов ЦК КПСС, направленных на дальнейшее улучшение благосостояния советского народа, первостепенное значение придается повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции, внедрению в производство безотходных и энергосберегающих технологий. По материалам Пленумов ЦК КПСС в августе 1983 г. было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по ускорению научно-технического прогресса в народном хозяйстве», которое предусматривает конкретные меры по широкому внедрению в народное хозяйство наиболее перспективных процессов и оборудования на основе единой научно-технической политики. В связи с этим большое значение приобретают вопросы создания и использования систем автоматизированного проектирования в различных отраслях, а также вопросы подготовки и переподготовки соответствующих инженерно-технических кадров.

Общеизвестен прогрессивный характер технологии кузнечно-штамповочного производства, основанной на получении заданной формы деталей или заготовок в результате рационального перераспределения металла, а не за счет удаления части его в стружку, как при обработке резанием. Продукция кузнечно-штамповочных цехов — поковки и штампованные детали — широко используется в производстве машин, оборудования, средств автоматизации, приборов. Качество поковок и штампованных деталей (требуемые точность формы и шероховатость поверхности) в решающей мере определяется стойкостью штампов. Особенно важное значение стойкость штампов приобретает при внедрении высокопроизводительных процессов.

Обеспечение высокой стойкости штампов возможно на базе решения комплекса вопросов, включающих проектирование оптимальных конструкций штампов, создание высокопрочных, теплостойких и износостойких штамповых материалов и покрытий, эффективных смазывающих материалов и охлаждающих жидкостей, разработку прогрессивной технологии изготовления формообразующей поверхности штампа.

Применение ЭВМ для проектирования технологических процессов штамповки и конструкций штампов позволяет не только повысить качество поковок и штампованных деталей, снизить расход материалов и энергии, уменьшить трудоемкость штамповки, но и рационально использовать имеющееся оборудование и материалы,

сократить сроки подготовки производства, а также подготовить программы для изготовления формообразующих поверхностей штампов на станках с числовым программным управлением. Эффективность автоматизированного проектирования повышается при использовании экономико-математических моделей и методов оптимизации.

Основными этапами проектирования технологического процесса штамповки являются: выбор способа штамповки; составление чертежа поковки или штампуемой детали; определение переходов штамповки; определение формы и размеров заготовки под штамповку; подбор кузнечно-штамповочного оборудования; проектирование штампов и технологических процессов их изготовления; выбор способа нагрева заготовок (при горячей штамповке); определение вида отделочных операций; оценка технико-экономических показателей разработанного процесса. Рекомендации по выполнению различных этапов проектирования технологии штамповки и используемые при этом справочные материалы достаточно подробно освещены в учебной и справочной литературе по горячештамповочному и холоднштамповочному производству.

Проектирование штампов выполняют в три этапа: выбор типа штампа и его сборочных узлов; проведение технологических расчетов и конструирование штампа и его сборочных единиц; вычерчивание штампа и его элементов в соответствии с требованиями ЕСКД.

Под штампом понимается деформирующий инструмент, под воздействием которого материал или заготовка приобретает форму и размеры, соответствующие поверхности или контуру инструмента. Гравюрой штампа называется формообразующая поверхность ручья.

Основные детали штампа следующие:

верхний и нижний штампы — соответственно верхняя и нижняя половины цельного или сборного (скрепленного) штампа;

штамповая или ручьевая вставка — формообразующая деталь сборного или скрепленного штампа; гравюра вставки полностью соответствует одному или нескольким переходам штамповки;

вкладыш (или боек), знак, прошивник (или прошивень) — формообразующие детали штампа, формирующие наружные и внутренние (неглубокие и глубокие) участки поковки;

пуансон — подвижная деталь штампа выдавливания, высадочного, прошивного и обрезного штампов;

матрица — неподвижная деталь штампа выдавливания, высадочного, прошивного или обрезного штампов; в матрицу обычно укладывают заготовки перед штамповкой, обрезкой или высадкой. В штампах выдавливания отдельно различают контейнер, в который помещают заготовку, и матрицу, через которую выдавливают необходимый профиль;

полуматрицы — составные части разъемной матрицы;

толкатель (или **выталкиватель**) — деталь штампа, служащая для выталкивания готовой поковки или отштампованной детали; иногда толкатель формирует полости;

блок, блок-штамп, пакет — крепежная и установочная части сборного штампа;

б ан д а ж — крепежная и установочная части скрепленного штампа; иногда бандажом называют кольцевой штамп — валок ковочных вальцов;

направляющие колонки, втулки — направляющие детали сборных штампов;

съемники — детали выталкивающих устройств, служащие для съема поковок с обрезаемых или прошивных пуансонов.

Конструкция штампа зависит от его назначения, характера деформации, способа нагружения, принципа действия и других факторов. Так, для выполнения *разделительных* операций применяют отрезные, отрубные, пробивные, прошивные и обрезаемые штампы; для выполнения *формоизменяющих* операций — штампы для объемной штамповки, выдавливания, вальцовки, накатки, раскатки, а также правочные и высадочные штампы.

Различают следующие виды штампов: *универсальный* — для выполнения одноименных операций, переналаживаемый для изготовления различных деталей; *специализированный* — для изготовления заданной детали и собираемый из сборочных единиц и (или) деталей, используемых в различных штампах; *специальный* — для изготовления заданной детали и собираемый из сборочных единиц и (или) деталей, используемых только в данном штампе.

Конструкция штампа должна обеспечивать: получение поковок и штампуемых деталей с заданной точностью геометрической формы и размеров, с требуемыми механическими свойствами и структурой материала; отсутствие поверхностных и внутренних дефектов, необходимую производительность, безопасность работы, а также быть технологичной в изготовлении, удобной для обслуживания и ремонта, обладать достаточной стойкостью, т. е. быть экономически эффективной.

Исходными данными для проектирования штампов являются: рабочие чертежи поковки или штампуемой детали с техническими требованиями к ней, утвержденный технологический процесс ее изготовления (технологический маршрут и операционные карты). Для проектирования штампа необходимо также знать техническую характеристику формообразующего оборудования (прессов, молотов, кузнечных машин); скоростной, температурный и силовой режимы работы различных штампов; закономерности распределения по объему штампа напряженного состояния в процессе эксплуатации, виды и механизмы изнашивания штампового инструмента.

На первом этапе на основе подробного анализа всех особенностей формы и размеров поковки (штампуемой детали) и технических требований к ней, а также с учетом объема ее выпуска, режима работы штампа, силы штамповки и т. п. выбирают наиболее

экономичный в заданных условиях производства тип штампа и его ориентировочную конструкцию.

В *крупносерийном* и *массовом* производстве от конструкций штампов требуются повышенная надежность в работе и высокая стойкость (длительность службы). Здесь оправданы массивные конструктивные сложности, обеспечивающую получение поковок (штампованных деталей), наиболее приближающихся по форме и размерам к деталям после обработки резанием. Перспективно применение штампов для безоблойной штамповки, штампов для выдавливания, а также штампов с компенсаторами и др., обеспечивающих так называемую «безотходную» или «малоотходную» технологию. В крупносерийном и массовом производстве предпочитают также использовать в качестве заготовок прокат специальных профилей, а также применять фасонирование заготовок на ковочных вальцах и станах поперечно-клиновой прокатки. В *среднесерийном* и *мелкосерийном* производстве требования к стойкости и сложности штампов менее высокие, однако здесь важно обеспечить многократное использование отдельных элементов штампа при штамповке различных однотипных поковок или штампуемых деталей.

Правильный выбор типа и конструкции штампа на первом этапе во многом определяет его успешную работу и является одним из решающих факторов, определяющих стоимость самого штампа и себестоимость поковок (штампованных деталей).

На **втором этапе** проектирования штампа рассчитывают требуемые силу и работу, определяют центр давления штампа; подбирают конструктивные элементы штампа и устанавливают их рабочие размеры и допуски; рассчитывают на прочность основные детали штампа; выбирают марки стали для изготовления деталей штампа; назначают режимы термической и другой упрочняющей обработки; решают вопрос о необходимости применения наплавки гравюры штампа износостойкими и теплостойкими материалами, напыления и др.

Особое внимание на этом этапе уделяется проектированию гравюры штампа: заготовительных, чернового и чистового ручьев при горячей штамповке, пуансонов и матриц при холодной штамповке и обрезке облоя. При штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах подбирают имеющиеся в наличии пакеты опорных частей штампа. В условиях мелкосерийного производства очень важно применение *стандартных, унифицированных* и *групповых* элементов штампов для однотипных деталей.

На **третьем этапе** вычерчивают штамп в соответствии с требованиями ЕСКД. Для этого по общему виду штампа, его габаритным размерам, расчетной силе штамповки и затрачиваемой работе подбирают необходимое штамповочное оборудование, причем если для технолога достаточно знать основные параметры соответствующего оборудования: допускаемую силу, ход рабочего органа, число ходов, размер подштампового пространства, наличие амортиза-

тора (буфера), а также оснащенность средствами механизации, то для конструктора штамповой оснастки этих сведений недостаточно. Характеристика оборудования должна быть дополнена эскизами основных сборочных единиц со всеми необходимыми размерами, т. е. указаны места крепления штампа, расстояние от стола до направляющих и от оси стола до станины, тип и размеры выталкивателей, размеры отверстий в столе и в подштамповой плите для удаления детали, а также закрытая высота штампа и диапазон ее регулирования и др. Если проектируемые штампы должны работать со средствами механизации и автоматизации, то необходимо иметь их схему.

При выполнении рабочих чертежей и особенно при изготовлении штампов для поковок сложной пространственной формы кроме чертежа поковки используют мастер-модели, выполненные в натуральную величину из дерева, пластмассы, гипса и др. По мастер-модели определяют положение поковки в штампе и размеры ее во всех направлениях, а также изготавливают объемные и плоские шаблоны, по которым изготавливают штамп и проверяют его размеры и форму. Иногда шаблоны используют при вычерчивании штампов. Мастер-модели с линиями координатной сетки помогают более точно представить форму сложных пространственных поковок и изготовить объемные гипсовые формы для выполнения литейных моделей. Гипсовые формы выполняют также функции форм-копиров при обработке резанием рабочих полостей деформирующего инструмента.

Сведения о материалах и термической обработке деталей штампа приводят на рабочих чертежах. Технические требования, относящиеся ко всему штампу, приводят на сборочном чертеже.

Вычерчивание штампов возможно без детализирования или с частичным детализированием, что уменьшает число листов в комплекте чертежей, а значит экономит труд инженера. Кроме того, помогает изготовителям (особенно сборщикам) видеть главное и второстепенное в конструкции штампа, однако изготовить штампы по бездетализованным чертежам могут только высококвалифицированные рабочие.

В том случае, когда во вновь проектируемом штампе все детали по внешней форме, креплению и другим общим признакам идентичны деталям штампа, принятого за типовой (отличаются они лишь конфигурацией и размерами рабочих контуров) сборочный чертеж не разрабатывают, а вычерчивают рабочие контуры с постановкой исполнительных размеров. Этот метод также сокращает трудоемкость конструкторских работ.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКЦИЯХ ШТАМПОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО И ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

1. ШТАМПЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ НА МОЛОТАХ

При среднесерийном производстве штамповка на молотах занимает одно из ведущих мест по номенклатуре выпускаемых поковок. Это связано с универсальностью молотов и простотой их эксплуатации.

Имеется несколько разновидностей штамповки на молотах: *в открытых и закрытых штампах; одноручьевая, двухручьевая и многоручьевая* штамповки заготовок простого профиля и фасонных. Для повышения производительности применяют *многоштучную* штамповку, соединяя две-три и более поковок в одну. Возможна также *штамповка от прутка* с отрезкой поковок ножами в этом же штампе; по расположению заготовки возможна штамповка в *торец*, или *продольная* (направление движения инструмента совпадает с продольной осью заготовки), и *поперечная* (направление движения инструмента перпендикулярно продольной оси заготовки).

Наиболее рациональна одноручьевая или двухручьевая продольная штамповка заготовок простой формы или поперечная с предварительным фасонированием заготовок вальцовкой, прокаткой и т. п. Одноручевой открытый молотовый штамп в момент начала продольной штамповки показан на рис. 1.1. Штамп состоит из двух массивных блоков 5 и 6 с опорами-выступами для клиновидного крепления. Верхнюю от плоскости разъема 10 часть штампа крепят в бабе 8 молота клином 7. Шпонка 9 частично входит в паз выступа штампа, а частично в паз бабы, предотвращая смещение верхней части штампа. Нижнюю часть штампа закрепляют в подштамповой плите 3 клином 4 и шпонкой 11. Подштамповую плиту крепят в шаботе 1 молота с одной стороны клином 2, с другой — угловым соединением, предотвращающим смещение штампа вдоль клина. Заготовку устанавливают в ручье нижней части штампа, затем ударами верхней части штампа ей придают форму полости, образующейся при смыкании обеих частей. Излишек металла образует облой (заусенец).

При многоручьевой штамповке ручки подразделяют на *заготовительные* и *окончательные*. Окончательные ручки, в свою очередь, делят на черновые и чистовые. Заготовительные и окончательные

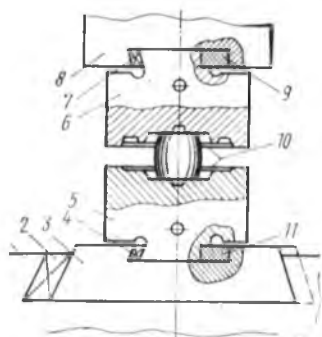


Рис. 1.1. Одноручевой открытый молотовый штамп

ручьи располагают в общем штампе; это обеспечивает непрерывность технологического процесса, но при выполнении заготовительных операций не в полной мере используется мощность молота. В плоскости разреза многоручьевого открытого молотового штампа (рис. 1.2) располагают рабочие элементы: ручки, выемку для клещевины, облойные и литниковую канавки, замки, контрзамки и др.

Заготовительные ручки могут быть протяжными, подкатными, гибочными, пережимными. *Протяжные* ручки применяют в тех случаях, когда длина выбранной заготовки меньше длины поковки, а *подкатные* — при длине заготовки, равной длине поковки. *Гибочные* ручки используют для штамповки изогнутых заготовок и при гибке уже оформленных поковок. *Пережимные* ручки используют редко, в основном для создания местного уширения на заготовке. Конструкция *отрубного ножа* напоминает открытый протяжной ручей, у которого толщина рабочего выступа уменьшена до 3—5 мм. Обычно отрубной нож располагают на одном из углов штампа. Выбор места для отрубного ножа определяется удобством работы, расположением других ручьев и способом подачи поковки, его располагают под углом 15—30° к боковой стенке штампа. Используют отрубной нож для отделения готовых поковок друг от друга (или от прутка) при спаренной или многоступенчатой штамповке.

Черновой ручей облегчает штамповку в чистовом ручье, так как

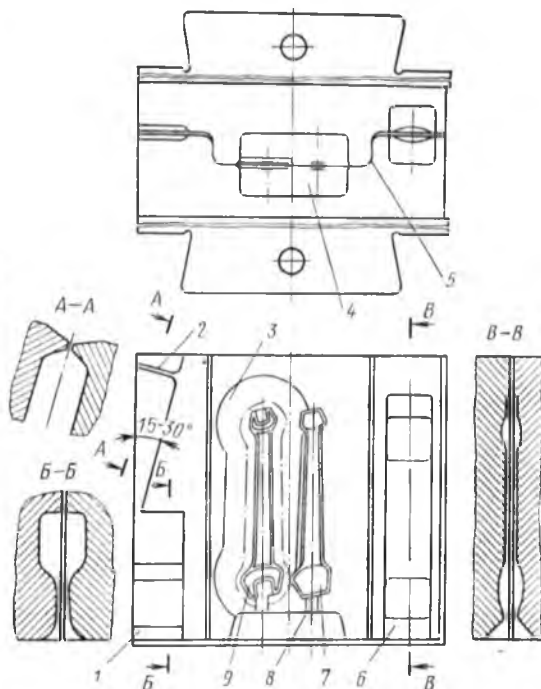


Рис. 1.2. Гравюра многоручьевого молотового штампа:

заготовительные ручки: 1 — протяжной; 6 — подкатной; окончательные ручки: 7 — черновой; 9 — чистовой; другие элементы гравюры: 2 — отрубной нож; 3 — облойная канавка; 4 — выемка под клещевину; 5 — замок; 8 — литниковая канавка

в нем получают приблизительную форму поковки с облоем; в результате уменьшается расход металла в облой в чистовом ручье и увеличивается его стойкость. Форма полости черногового ручья более плавная, радиусы закругления углов больше, чем в чистовом ручье.

Заполнение *чистового ручья*, в котором поковка приобретает окончательную форму, обычно происходит с помощью операций осадки, прошивки заготовки или выдавливания металла в углубления и выемки полости штампа. Долговечность молотовых штампов зависит прежде всего от конструктивных особенностей чистовых формообразующих ручьев, износ которых определяет стойкость всего штампа.

Форму чистового ручья рассчитывают по чертежу горячей поковки; при этом выбирают необходимые припуски, штамповочные уклоны, радиусы сопряжений, закруглений и переходов. Соответствующие рекомендации приведены в справочниках по технологии горячей штамповки. В качестве примера укажем лишь, что наружные штамповочные уклоны составляют $3-7^\circ$, внутренние — $7-10^\circ$. При конструировании чистового ручья ребра, бобышки и другие труднозаполняемые элементы поковки располагают в верхней части штампа и на значительном расстоянии от клещевины, а элементы поковки, застревающие в штампе, — ближе к клещевине.

Выемка для клещевины предусматривается при штамповке из штучных заготовок. Она предназначена для размещения части прутка, зажатой губками клещей, а также для захвата поковки при удалении ее из ручья. Размеры выемки для клещевины назначают в зависимости от размеров заготовки и поковки. Клещевая выемка совместно с *литниковой канавкой* используются для отливки контрольной фигуры ручья из свинца или какого-либо сплава.

Размеры и форма *облойных канавок* зависят от размеров и конфигурации поковок, а также от объема, формы и размеров заготовок, поступающих в ручей. Геометрически правильно построенная канавка имеет узкий выход из полости штампа, расширяющийся в сторону магазина, в который вытесняется излишек металла. Наибольшее распространение получила канавка (рис. 1.3) с односторонним верхним мостиком; нижняя часть штампа, на которую кладут нагретую заготовку, выступающего мостика не имеет.

На практике размеры облойных канавок рассчитывают либо по размерам поковок, либо по массе падающих частей молота. Как видно из табл. 1.1, размеры стандартных облойных канавок зависят от максимальной глубины ручьев в верхней или нижней части штампа и характера деформаций при заполнении штампа.

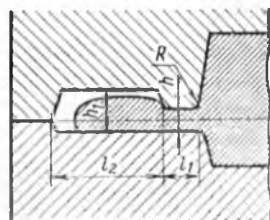


Рис. 1.3. Конструкция облойной канавки молотового штампа:

h и l_1 — высота и длина облойного мостика; h_1 и l_2 — высота и длина магазина; R — радиус перехода от поковки к облою

Т а б л и ц а 1.1. Размеры стандартных облойных канавок

Номер стандартной канавки	Размеры канавки по высоте		Радиус R при максимальной глубине ручья			Характер деформации при штамповке					
						осаживанием		выдавливанием в неглубокую полость		выдавливанием в глубокую полость	
	h	h_1	до 20	20—40	св 40	l_1	l_2	l_1	l_2	l_1	l_2
1	0,6	3,0	1,0	1,0	1,5	6	18	6	20	8	22
2	0,8	3,0	1,0	1,5	1,5	6	20	7	22	9	25
3	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	7	22	8	25	10	28
4	1,6	3,5	1,0	1,5	2,0	8	22	9	25	11	30
5	2,0	4,0	1,5	2,0	2,5	9	25	10	28	12	32
6	3,0	5,0	1,5	2,0	2,5	10	28	12	32	14	38
7	4,0	6,0	2,0	2,5	3,0	11	30	14	38	16	42
8	5,0	7,0	2,0	2,5	3,0	12	32	15	40	18	46
9	6,0	8,0	2,5	3,0	3,5	13	35	16	42	20	50
10	8,0	10,0	3,0	3,5	4,0	14	38	18	46	22	55
11	10,0	12,0	3,0	3,5	4,0	15	40	20	50	25	60

Примечание. Размеры даны в мм.

Замки и контрзамки (рис. 1.4, а, б) центрируют верхнюю и нижнюю части штампа и уравнивают боковые силы, возникающие при криволинейном разъеме и в результате неравномерного распределения металла заготовки по плоскости разъема.

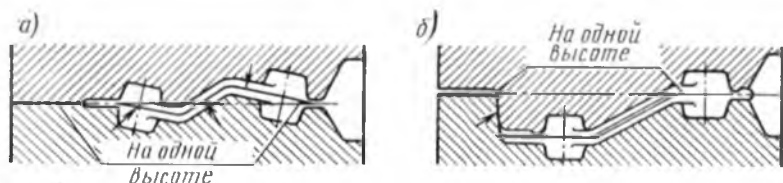


Рис. 1.4. Замок (а) и контрзамок (б)

Вспомогательные элементы (рис. 1.5) конструкции штампа обеспечивают его транспортирование, точную установку и надежное крепление. Для транспортирования штампа служат подъемные транспортные отверстия 1, диаметр которых зависит от массы штампового кубика. Точную установку осуществляют по контрольным граням 5 и 6, образующим между собой контрольный угол. Штамп крепят к бабелю или штамподержателю молота с помощью шпонки и клина; для этого предусмотрены шпоночный паз 2, хвостовик 3 и заплечики 4. Размеры элементов крепления штампов в бабеле определяют по ГОСТ 6039—71. При этом площадь опорной поверхности хвостовика должна составлять не менее 450 см² на 1 т массы падающих частей молота.

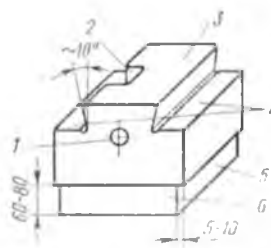


Рис. 1.5. Вспомогательные элементы молотового штампа

Молотовые штампы изготовляют цельноблочными (каждая половина штампа из отдельного штампового кубика) и сборными. Конструкции блок-штампов и их сборочных единиц стандартизованы. Вкладыши и вставки сборных штампов изготовляют из штамповых сталей повышенной теплостойкости и прочности (цельноблочные штампы изготовлять из таких сталей нетехнологично и экономически нецелесообразно). Это увеличивает стойкость штампов в 1,5—3 раза, кроме того, появляется возможность штамповать близкие по конфигурации и размерам поковки с применением универсального блок-штампа и нормализованных вставок, т. е. использовать групповые методы штамповки в мелкосерийном производстве.

Цилиндрические вставки применяют для штамповки круглых в плане и имеющих высокие выступы поковок, а призматические — для штамповки поковок с мелкими элементами или поковок, имеющих в плане удлиненную форму. Угловые призматические вставки и соответствующие им блок-штампы более сложны в изготовлении, однако они повышают точность штампуемых поковок.

Для замены изношенной запрессованной вставки весь штамп нагревают до температуры 200—300 °С. Затем вставку охлаждают водяным душем. За счет интенсивного охлаждения размеры вставки уменьшаются и ее легко удаляют из гнезда. Для замены подбирают вставку с диаметром на 0,1—0,2 % больше установочных размеров блок-штампа; этим обеспечивают необходимый натяг. Затем блок-штампы нагревают, закладывают вставку и охлаждают до комнатной температуры; после охлаждения штамп снова готов к эксплуатации.

Во вставке молотового штампа могут размещаться черновой и чистовой ручки, при этом заготовительные ручки и отрубной нож располагают в блок-штампе. Вкладыши можно устанавливать не только в цельноблочных штампах, но и во вставках.

Ручей правочного штампа изготовляют по номинальным размерам поковки; размеры корректируют на величину усадки при частичном охлаждении поковки. Гравюра правочного ручья по форме проще окончательной (спрямлен сложный контур, небольшие выступы заготовок не обжаты; ручей открыт для улучшения доступа к поковке и т. д.).

2. ШТАМПЫ КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССОВ

Помимо молотов для объемной горячей штамповки применяют кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП), имеющие также большое распространение.

Штампы для этих прессов, как правило, сборные, имеют вставки с ручьями, а также другие детали, предназначенные для крепления как вставки, так и самого штампа. Штамповое пространство кривошипного горячештамповочного прессы должно регулироваться по высоте. С этой целью прессы снабжают столом особой конструкции (рис. 1.6). Опорную поверхность станины 2 выполняют наклон-

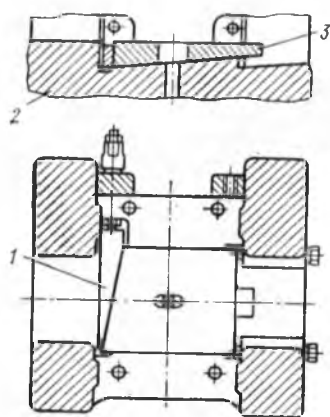


Рис. 1.6. Клиновое устройство для регулирования закрытой высоты КГШП

ной. Подштамповая плита (клин) 3 имеет тот же наклон, что и станина (для прессов средних размеров $12-14^\circ$). В конструкции клина 3 в середине предусматривают овальное отверстие для прохода стержня нижнего выталкивателя, справа — выступающий в окне станины пресса отросток для перемещения плиты и слева — клиновой скос, по которому перемещается вспомогательный клин 1. При перемещении клина 3 изменяется уровень горизонтальной поверхности, что приводит к изменению размера закрытой высоты пресса.

Штампы КГШП по назначению можно разделить на *универсальные* и *специальные*. Наиболее часто применяют универсальные штампы: они позволяют заменой формообразующих элементов (ру-

чьевых вставок, пуансонов и матриц) штамповать поковки близкой конфигурации и размеров в одном пакете (блок-штампе). Специальные штампы применяют лишь при массовом производстве поковок сложной конфигурации.

Универсальный штамп кривошипного горячештамповочного пресса предназначен для штамповки круглых (рис. 1.7, а, б, в) или удлиненных в плане (рис. 1.7, а, б, г) поковок. Соответственно применяют пакеты из трех цилиндрических 11 или трех призматических 13 вставок. Штамп состоит из верхнего 3 и нижнего 1 блок-штампов. В нижнем запрессованы направляющие колонки 4, а в верхнем — втулки 5. Выталкиватели 7, расположенные в верхнем и нижнем блок-штампах, приводятся в движение рычажно-кулачковыми механизмами 6. Вставки расположены на подштамповых плитах 2; их крепят к блоку с помощью клиновых накладок 8 и скоб 9. Для фиксирования вставок в направлении, параллельном фронту пресса, служит винтовой зажим 10. Блок-штампы крепят к столу болтами, проходящими через отверстия 12.

Обычно в универсальных штампах применяют три пары вставок. При двухпереходной штамповке одна пара вставок нерабочая. В отдельных случаях применяют и четвертую пару вставок для осадки; ее обычно располагают отдельно от других вставок в передней части штампа. Как правило, вставку окончательного ручья размещают в центре пакета; место расположения других вставок зависит от того, с какой стороны подают заготовку и где расположен обрезной пресс.

Конструкции универсальных штампов КГШП отличаются друг от друга исполнением системы выталкивания (центральная или рычажно-кулачковая), расположением накладок (правостороннее или левостороннее) и креплением нижних вставок (облегченное или усиленное скобами или накладками).

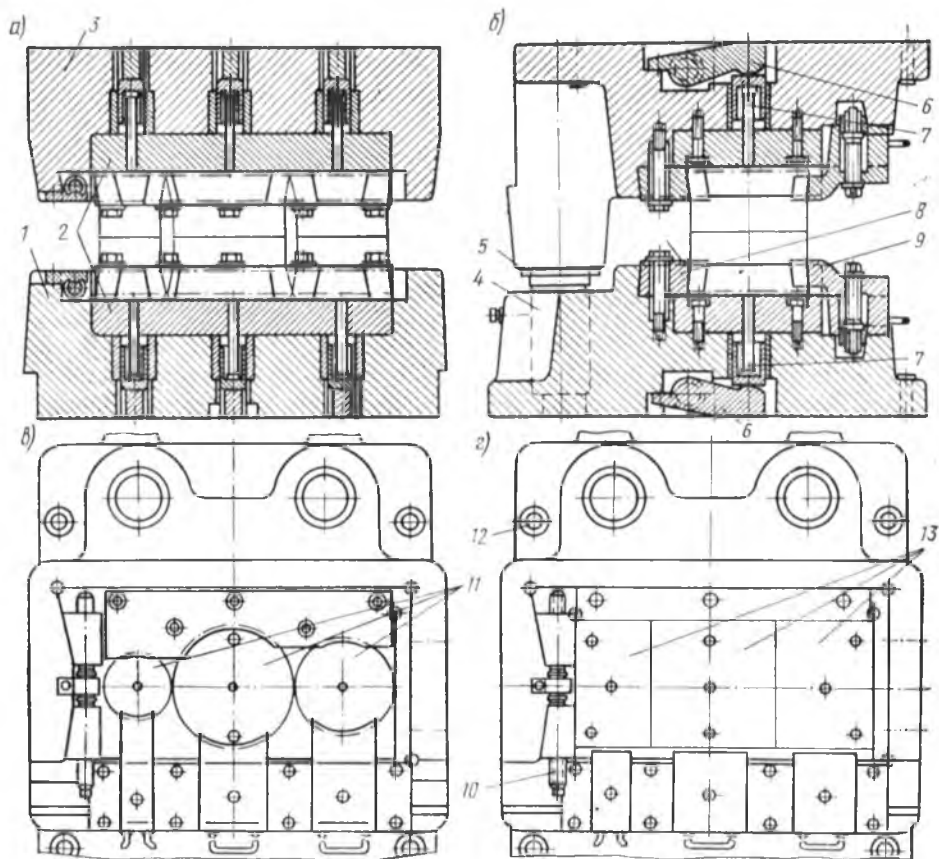


Рис. 1.7. Универсальный штамп для горячей штамповки на КГШП

Система выталкивания поковки (самостоятельная для верхней и нижней половин штампа) состоит из толкающего механизма прессы, промежуточного рычага, надавливающего на упорную планку, и выталкивателя, удаляющего поковку из ручья (центральная система выталкивания). Конструкция выталкивателя зависит от формы поковки и способа штамповки. При продольной штамповке выталкиватель упирается либо в торец поковки, либо в перемычку под отверстие, либо, для поковки с отверстием, в кольцевую поверхность торца. При поперечной штамповке упор может быть в головку, в стержень и даже в облой поковки. При использовании нескольких пар выталкивателей в одном штампе применяют рычажную или рычажно-кулачковую систему выталкивания. Наличие выталкивателей позволяет назначать небольшие штамповочные уклоны (до 3°).

Конструкции крепления вставок в пакетах показаны на рис. 1.8, а—д. Чаще применяют призматические вставки. Их проще регу-

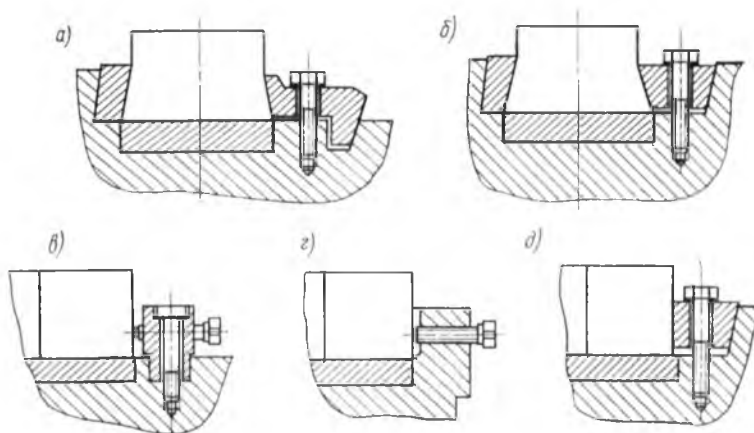


Рис. 1.8. Крепление вставок в блок-штампах КГШП:

а — продольное накладками; б — продольное прижимными клиньями; в — боковое упорными болтами через стойку; г — боковое упорными болтами через стенку блока; д — боковое прижимными клиньями

лизовать, кроме того, крепление призматических вставок более надежно; формообразующую часть вставки изготавливают в виде цилиндрической матрицы или вкладыша и крепят в призматической вставке с помощью накладок или посадки с натягом.

На кривошипных горячештамповочных прессах применяют открытые и закрытые штампы. Конструктивное выполнение гравюры *открытых* штампов для КГШП и для молотов во многом совпадает. На гравюре вставки в соответствии с чертежом горячейковки выполняют заготовительный и черновой ручьи, чистовой ручей с облойным мостиком, литник и выемку для клещевины. В теле вставки высверливают отверстие для выталкивателя, транспортировочные отверстия, а при необходимости — водоохлаждающие каналы. Рассчитывают размеры (включая уклоны) ручьев и облойных канавок. Ручьи *закрытых* прессовых и молотовых штампов существенно отличаются друг от друга. При штамповке на кривошипных прессах требования к точности заготовок более жесткие, чем при штамповке на молотах. Большие колебания объема заготовок могут привести к перегрузке пресса. Для предотвращения возможных перегрузок предусматривают компенсаторы в виде дополнительных выемок в полости штампа.

При продольной и поперечной штамповке на КГШП заготовительные ручьи различны. Для обеспечения высокой производительности в прессовом штампе должно быть не более двух-трех ручьев. Обычно штампы КГШП не применяют для сложного фасонирования, а подготавливают заготовки прокаткой периодического профиля на ковочных вальцах или станах клиновой прокатки, особенно при поперечной штамповке длинноосных поковок.

При *продольной* штамповке на прессе технологический процесс состоит из осадки (рис. 19, а, б) или полузакрытой осадки с обра-

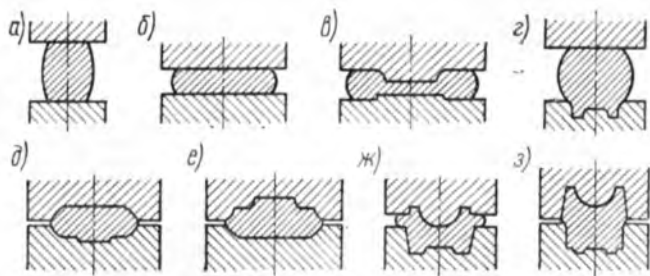


Рис. 1.9. Типы заготовительных ручьев при продольной штамповке

зованием глухих наметок (рис. 1.9, в, г), осадки с частичным выдавливанием (рис. 1.9, д, е), штамповки в черновом ручье (рис. 1.9, ж, з) — только для поковок сложной формы и чистовой штамповки. Кроме указанных заготовительных ручьев в прессовых штампах широко применяют ручки для выдавливания.

При *поперечной* штамповке длинноосных поковок применяют следующие ручки: пережимной, в котором за один ход пресса высота заготовки уменьшается, поперечные размеры увеличиваются и происходит небольшое фасонирование; формовочный для фасонирования несимметричных поковок. Указанные ручки не отличаются от таких же ручьев молотовых штампов. Прессовые штампы для поперечной штамповки могут иметь один или два черновых ручья.

Размеры *облойных канавок* прессовых штампов рассчитывают аналогично канавкам молотовых штампов. В прессовых штампах в большинстве случаев используют открытый мостик. Для уменьшения потерь металла в облой и повышения стойкости штампов иногда применяют облойные мостики клиновидной формы.

КГШП широко применяют и для выполнения *процесса выдавливания*. В этом случае также применяют сборные штампы, состоящие из блок-штампа и сменных рабочих вставок: матриц, пуансонов и др. Простейший одноручьевого штамп для выдавливания приведен на рис. 1.10. Пуансон 11 крепят к верхней плите 8 с помощью прижимного кольца 10; для уменьшения износа верхней плиты устанавливают закаленную опорную плиту 9 (прокладку). Матрицу 3 крепят в контейнере 13, контейнер — в обойме 14, обойму — в матрице-держателе 15 — крышкой 6 с прокладкой 5 и болтами 12. Втулка 2 — направляющая для выталкивателя 1. В штампе предусмотрены каналы 4 и 7 для подачи охлаждающей воды и смазывающего материала соответственно. Недостатком этого штампа является отсутствие направляющих устройств; в процессе работы это может привести к нарушению соосности верхней и нижней частей штампа и, следовательно, к поломке инструмента.

При поперечном выдавливании поковок матрицы выполняют с разъемом в горизонтальной (рис. 1.11, а) и вертикальной

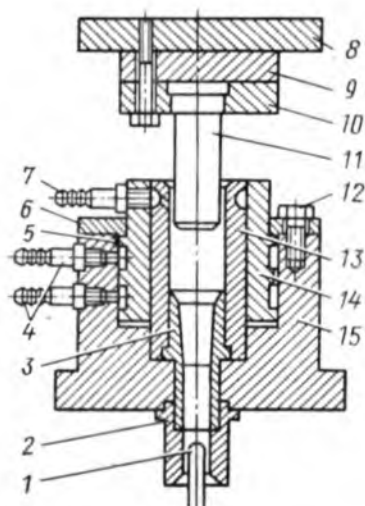


Рис. 1.10. Одноручевой штамп для выдавливания мелких поковок

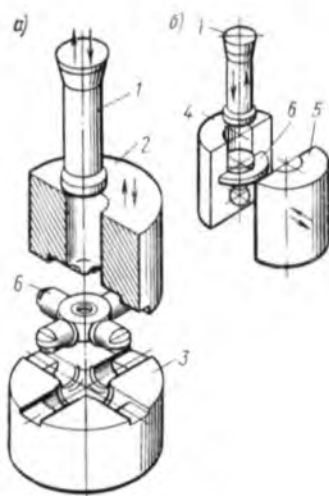


Рис. 1.11. Схемы выдавливания поковок в матрицах с горизонтальным (а) и вертикальным (б) разрезами:

1 — пуансон; 2 — верхняя полуматрица; 3 — нижняя полуматрица; 4, 5 — соответственно левая и правая полуматрицы; 6 — поковка

(рис. 1.11, б) плоскостях. Деформирование производят пуансоном; матрицы закреплены в плитах прижимами.

При конструировании матрицы для прямого прессования принимают высоту заготовки (и глубину контейнера) $h_k \leq 5d_k$, где d_k — диаметр контейнера (рис. 1.12). Угол φ составляет $35-50^\circ$, а длина калибрующего пояска $h \leq 0,5 d_o$, где d_o — диаметр калибрующего пояска. Натяг (в мм) при запрессовке матричных вставок в бандаж рассчитывают по формуле $\delta = 12 \cdot 10^{-6} DT$, где D — наружный диаметр вставки, мм; T — температура нагрева бандаж перед сборкой, $^\circ\text{C}$. При прессовании поковок, отличающихся по конфигурации от тел вращения, верхнюю и нижнюю полуматрицы предохраняют от поворота и смещения штифтами. Штампы с противодавлением применяют при всех типах выталкивателей (рычажных, гидравлических и пневматических) и для всех разновидностей поковок, выталкиваемых с упором в тело поковки.

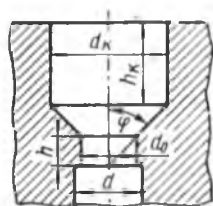


Рис. 1.12. Основные размеры граюры матрицы для горячего прессования

На рис. 1.13 показан закрытый трехручьевого штамп с рычажным верхним выталкивателем, работа которого обеспечивается противодавлением группы тарельчатых пружин. В ручье I образуется фиксирующая полость. Затем заготовку поворачивают на 180° и устанавливают на нижний знак ручья II (чистового ручья). В третьем — пробивном ручье от поковки отделяют перемычку. Поков-

ка снимается с пробивного пуансона в ручье *III* пружинным съёмником. Перемычка, отделенная от поковки, удаляется вправо за пределы штампа по наклонному каналу. Кольцо *1*, выталкивающее поковку в чистовом ручье, 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 *5* системы противо-

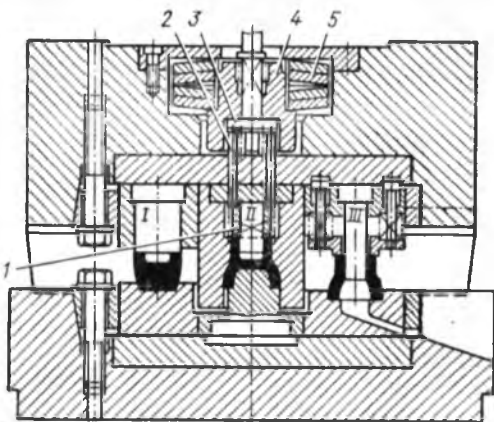


Рис. 1.13. Закрытый штамп с рычажным верхним выталкивателем и пружинной системой противодействия (конец рабочего хода)

В определенный момент штамповки металл входит в кольцевую полость ручья и упирается в кольцо толкателя. В дальнейшем металл выдавливается в кольцевую полость, преодолевая сопротивление сжатия пружин. При обратном ходе ползуна прессы пружины, преодолевая силу, удерживающую поковку в ручье, выталкивают ее. Большие естественные уклоны нижней части поковки способствуют свободному ее отрыву от нижнего знака ручья; выталкиватель здесь не нужен.

3. ШТАМПЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИН

На горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) штампуют в *открытых* и *закрытых* штампах. Типичный процесс — многоручьевая высадка в закрытых двухразъемных штампах. Штамповой инструмент ГКМ состоит из блока *пуансонов* и неподвижного и подвижного *блоков матриц*. Главный разъем проходит между пуансоном, закрепленным в блоке пуансонов, и разъемной матрицей, расположенной в блоках матриц. Особенности штампового инструмента: ось деформирования горизонтальна; матрицы имеют разъем параллельно оси деформирования; число ручьев в матрицах обычно не менее двух (чаще всего 3—5).

Наиболее целесообразна высадка от прутка. На ГКМ также штампуют мерные заготовки. В тех случаях, когда глухая полость ручья попадает в разъем, можно не назначать штамповочные уклоны на стенки этой полости. Поковки со сквозными отверстиями можно получать без отходов на перемычку. Точность высаженных поковок в данном случае более высокая, чем при штамповке на молотах, за счет лучшего направления движущихся частей штампов и постоянства их хода.

Основные *формоизменяющие* переходы при высадке на ГКМ — наборные и формовочные (с прошивкой и частичным выдавлива-

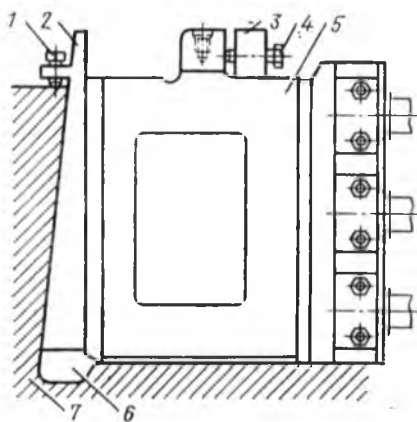


Рис. 1.14. Блок пуансонов с фланцевым креплением пуансонов в трехручьевом исполнении

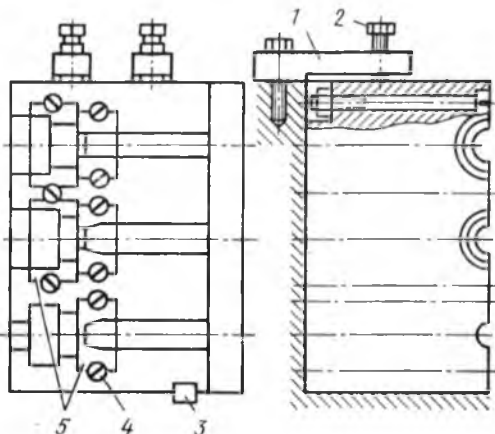


Рис. 1.15. Блок матриц

нием). *Разделительные* операции — пробивка, обрезка облоя и отрезка. Перед отрезкой в ряде случаев выполняют заготовительную операцию — пережим заготовки.

Назначение наборных ручьев — получить заготовку большего диаметра для последующей высадки поковки за одну операцию. Продольный изгиб заготовки ограничен стенками наборного ручья. В штампах ГKM набирать металл можно в пуансоне, в матрице, а также одновременно и в пуансоне, и в матрице.

Конструкцию и размеры наборных, формовочных, пережимных и других ручьев штампов ГKM подбирают и рассчитывают в соответствии с действующими нормативными материалами в зависимости от требуемой конфигурации поковок.

Наиболее распространен сплошной блок пуансонов (рис. 1.14). В правой части блок 5 имеет пазы для фланцевого крепления хвостовиков пуансонов (в данном случае их три). Блок закрепляют в седле 6 ползуна 7 планкой 3. Болт 4, упираясь в выступ блока, прижимает его к клину 2, который регулирует положение блока (и соответственно положение пуансонов): при подъеме клина 2 (ввертыванием болта 1, упирающегося в ползун) блок передвигается вправо и наоборот. Для уменьшения массы литой блок в средней части имеет выемку прямоугольной формы, что облегчает обработку его боковых поверхностей. Блоки рассмотренной конструкции надежны в работе и при наладке штампов обеспечивают необходимую точность установки пуансонов. Такие блоки изготавливают в двух-, трех- и четырехручьевом исполнении. Кроме фланцевого крепления применяют блоки с винтовым и стяжным креплением пуансонов. Распространены и конструкции сборных пуансонов. Основное преимущество сборного инструмента — экономное использование высоколегированной стали.

Блоки, в которых закрепляют части матриц, обычно изготавливают сплошными из конструкционных сталей. Правый, неподвижный блок, находится в гнезде станины, а левый, подвижный — в боковом ползуне. Так как в рабочем (сомкнутом) положении блоки матриц с трех сторон ограничены опорными поверхностями, то для их крепления применяют накладки 1 с нажимными болтами 2 и направляющие шпонки 3 (рис 1.15). Вставки 5 (из штамповых сталей) 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. Небольшие вставки закрепляют одной парой болтов, большие двумя, а иногда и тремя парами болтов. Наружный диаметр вставок выбирают в зависимости от их прочности; при этом стараются унифицировать крепежные гнезда в блоках.

4. ШТАМПЫ ДЛЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

К новым технологическим процессам горячего деформирования относят штамповку на высокоскоростных молотах, радиально-ковочных машинах и горячештамповочных автоматах, жидкую и изотермическую штамповку и др. Основное развитие эти процессы получили в последние годы.

На *высокоскоростных молотах* поковки изготавливают открытой и закрытой объемной штамповкой, прямым и обратным выдавливанием. Как правило, штампуют круглые в плане поковки с тонкими (до 2 мм) ребрами и стенками, резкими переходами сечений, малыми (менее 2°) штамповочными уклонами. Штампы высокоскоростных молотов (рис. 1.16) конструируют только для однопереходной штамповки. Они оснащены одним толкателем (в нижнем блоке). Пуансоны (обычно цельные) крепят в блоках болтами или с помощью прижимных и резьбовых колец. Матрицы состоят из обойм и запрессованных в них вставок. Обоймы матриц крепят к плитам болтами; в отдельных случаях используют прижимные кольца. В настоящее время на высокоскоростных молотах штампуют поковки диаметром до 300 мм и массой до 30 кг.

На *радиально-ковочных машинах* штампуют ступенчатые ва-

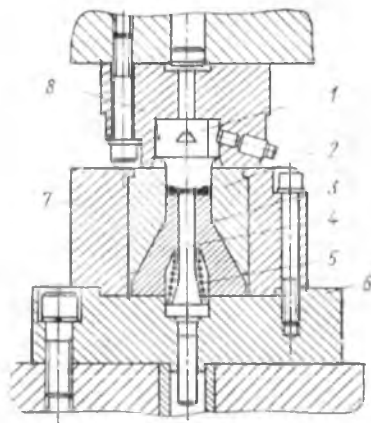


Рис. 1.16. Штамп для высокоскоростной штамповки поковки дисковой фрезы:

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — вставка матрицы; 4 — выталкиватель; 5 — пружина; 6 — опорная плита; 7 — обойма матрицы; 8 — блок пуансонов

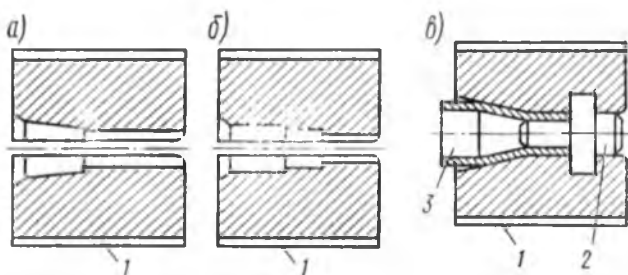


Рис. 1.17. Штамповый инструмент радиально-ковочной машины дляковки одноступенчатых (а) и многоступенчатых (б) валов и трубных заготовок на оправке (в):

1 — бойки; 2 — оправка; 3 — поковка

лы, прямоугольные детали сплошного сечения, трубы, шлицы и различные законцовки. Отечественные радиально-ковочные машины предназначены для горячей обработки прутковых заготовок диаметром до 160 и труб диаметром до 250 мм; число ударов в минуту формообразующего инструмента — 500—800. Штамповый инструмент радиально-ковочных машин представлен на рис. 1.17.

Горячештамповочные автоматы применяют для изготовления поковок массового производства: болтов, гаек, колец подшипников и др. Формоизменяющие операции: высадка стержней с утолщениями, выдавливание, прошивка. Штамповый инструмент горячештамповочных автоматов обычно комбинированный совмещенного или последовательного действия. Значительно чаще на горячештамповочных автоматах применяют комбинированные штампы последовательного действия (рис. 1.18).

Штамповку производят последовательно за четыре операции: позиция А (отрезка)— нагретый в индукторе пруток 2 опускают до упора 6, зажимают между неподвижной 1 и подвижной 4 полуматрицами; затем от прутка ножом 5 отрезают, используя прижим 3, заготовку нужного размера;

позиция Б (осадка)— заготовку 8 осаживают между пуансоном 9 и осадочной вставкой 7;

позиция В (выдавливание)— осаженную заготовку выдавливают в сборной матрице (11, 12) сборным пуансоном (15, 16);

позиция Г (пробивка)— отформованную поковку 14 устанавливают на матрице 17 и пробивают пуансоном 18.

Для передачи заготовки от позиции А до позиции Г служат механизмы переноса (на рисунке не показаны). Готовую поковку после отхода пробивного пуансона 18 снимают съемником 20. Пуансоны и матрицы монтируют в обоймах и закрепляют болтами в блоках пуансонов и матриц с помощью разрезных колец. Для сталкивания заготовок с пуансонов служат выталкиватели 10, 15 и 19, приводимые в движение пружинами; отформованную поковку удаляют из матрицы 12 выталкивателем 13, приводимым в движение кулачковым механизмом. Матрицы охлаждают водой через

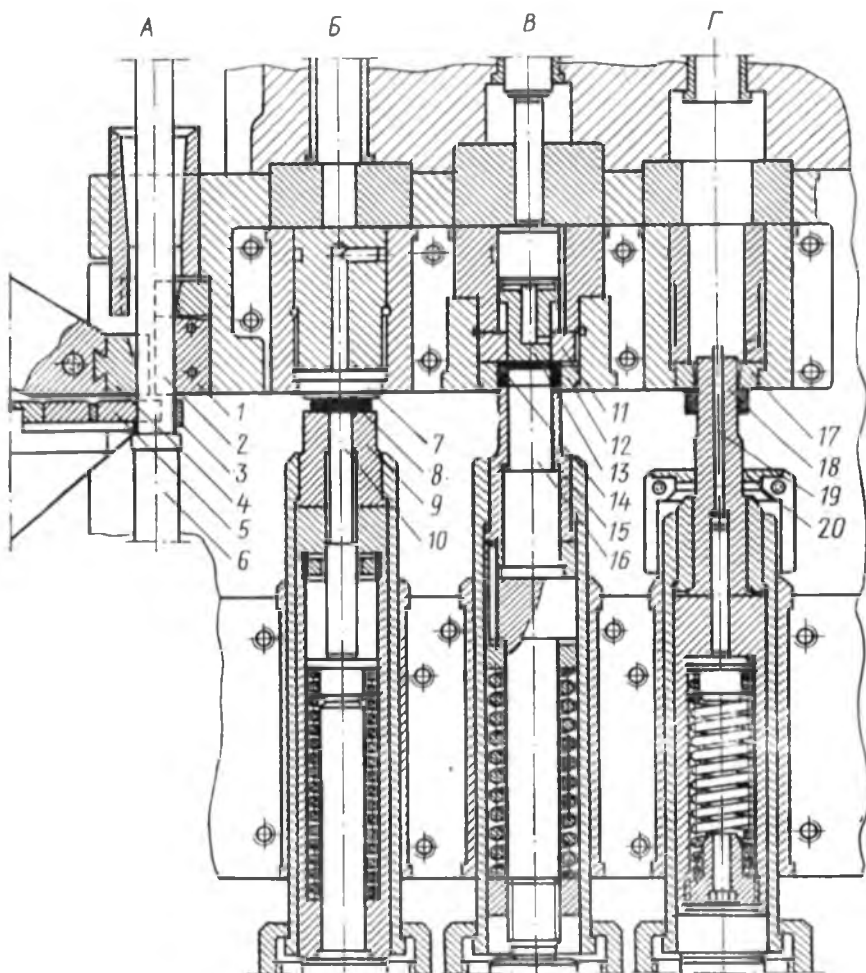


Рис. 1.18. Штамповый инструмент многопозиционного горячештамповочного автомата АМР-30 для изготовления поковок подшипниковых колец и гаек

каналы и отверстия, выполненные в деталях матричного блока, а пуансоны — с помощью форсунок.

Штамповку жидкого металла, изотермическую штамповку и штамповку с использованием низкотемпературной термомеханической обработки производят, как правило, на гидравлических прессах, оборудованных ускорителями холостого хода. По конструктивному исполнению штампы для жидкой штамповки близки к закрытым штампам (рис. 1.19). Однако в штампах для жидкой штамповки имеются специальные полости для заливки жидкого металла и хранения его излишков. В этих штампах иногда предусматривают

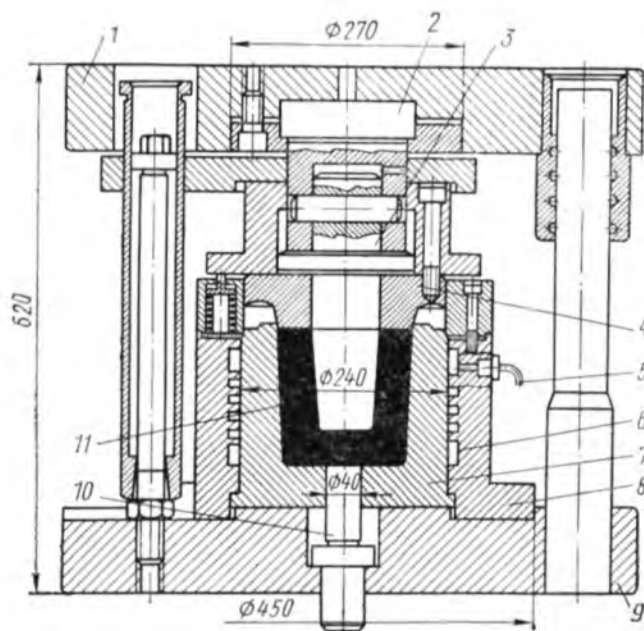


Рис. 1.19. Штамп для жидкой штамповки полой поковки:
 1 — верхняя плита; 2 — блок пуансона; 3 — прошивной пуансон;
 4 — подпрессовочный пуансон; 5 — водяной шланг; 6 — каналы
 для водяного охлаждения; 7 — матрица; 8 — обойма матрицы; 9 —
 нижняя плита; 10 — выталкиватель; 11 — поковка

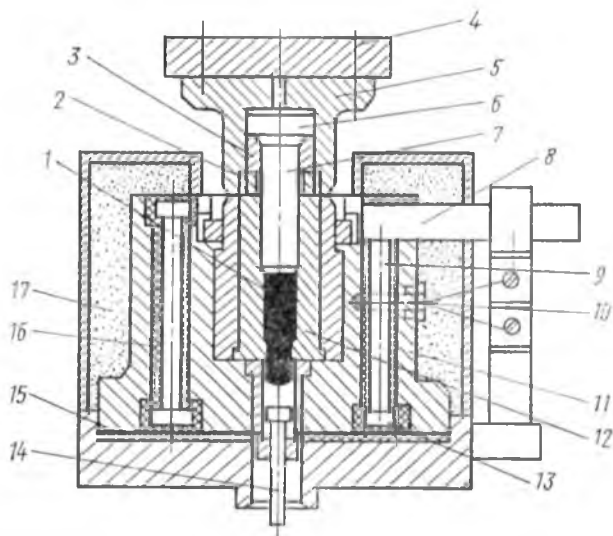


Рис. 1.20. Штамп-индуктор для низкотемпературной
 термомеханической обработки заготовок пуансонов из
 инструментальных сталей

внутреннее охлаждение формообразующих деталей. Жидкая штамповка экономична лишь при производстве поковок массой от 5 до 30 кг.

Изотермическую штамповку в настоящее время выполняют в обычных штампах для открытой или закрытой объемной штамповки; при этом штампы оснащают нагревателями, позволяющими поддерживать температуру штампового пространства во время всего цикла деформирования в пределах 800—1100 °С. Значительно ниже (450—600 °С) температура для низкотемпературной термомеханической штамповки заготовок из инструментальных сталей. На рис. 1.20 приведена конструкция штампа гидравлического пресса для такой штамповки заготовок пуансонов. Заготовка 1 выдавливается в матрице 12 пуансоном 7. После окончания деформирования верхняя часть штампа, состоящая из крепежной плиты 4, пуансонодержателя 5 и пуансона 7, закрепленного резьбовым кольцом 2 и втулкой 3 на опоре 6, отводится вверх и готовая поковка выталкивается выталкивателем 14. В корпусе штампа 11 размещены медные стержни 9, соединенные последовательно планками 13 и изолированные от корпуса изоляцией 15, 16 и 17. Они обеспечивают нагрев штампа при пропускании тока промышленной частоты через токопроводы 8. Температуру нагрева контролируют термпарой 10. В этом штампе можно выдавливать заготовки диаметром от 10 до 50 мм.

5. ШТАМПЫ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Разделительные штампы применяют простого, последовательного и совмещенного действия. Основной конструкции вырубного штампа *простого действия* (рис. 1.21) является стандартный блок с направляющими колонками. Заднее расположение направляющих колонок позволяет вести работу справа налево. Более уравновешенным является блок с диагональным расположением направляющих колонок. Рабочие части штампа крепятся: пуансон 1 к верхней и матрица 3 к нижней плитам. Вырубка происходит «на провал» через отверстие в матрице и нижней плите. Для съема отхода с пуансона на матрице установлен жесткий съемник 2. Пластина 4 служит опорой для подаваемой справа налево полосы. Для увеличения производительности штамповки штамп снабжен автоматическим качающимся упором 5.

Штампы *последовательного действия* применяются, как правило, для изготовления пластин с несколькими отверстиями. В этом штампе имеются два или несколько пуансонов, которые выполняют последовательно операции пробивки отверстий, а затем операцию вырубки по контуру. При автоматической работе эти операции делаются одновременно по ходу движения заготовки.

Штампы *совмещенного действия* предназначены для вырубки крупных шайб, дисков с отверстиями и т. п.

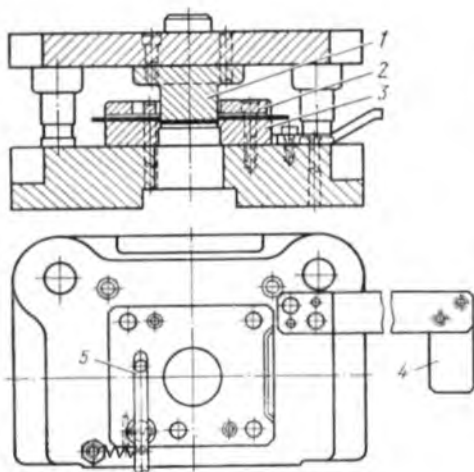


Рис. 1.21. Типовой вырубной штамп простого действия

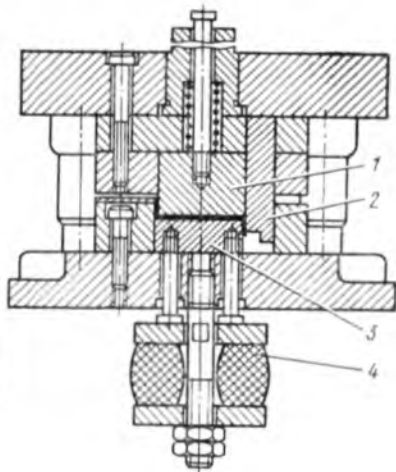


Рис. 1.22. Штамп для гибки полок в противоположных направлениях

6. ШТАМПЫ ДЛЯ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Из штампов для формоизменяющих операций чаще других применяют гибочные, вытяжные и комбинированные. На рис. 1.22 показана конструкция *гибочного штампа* для гибки полок в противоположных направлениях. Сначала производится гибка правой полки пуансоном 2 на прижиме-выталкивателе 3, подпружиненном буфером 4. После сжатия пружины верхнего выталкивателя 1 последний отжимает прижим 3 вниз и производит гибку левой полки. По окончании работы деталь выталкивается на поверхность штампа. Заготовку фиксируют по трафаретам, установленным на поверхности матрицы.

На рис. 1.23 представлена конструкция *вытяжного штампа* для прессы двойного действия. К внутреннему ползуну прессы крепится (через промежуточную деталь) пуансон 1. К наружному ползуну крепят прижим 2, прижимающий плоскую заготовку к поверхности вытяжной матрицы 3. Готовая деталь выталкивается из матрицы выталкивателем 4, действующим от буфера. С пуансона деталь снимается прижимом 2. При небольших размерах штампуемых деталей вытяжка может производиться «на провал». Для работы на рассматриваемом штампе нужны предварительно вырубленные (или вырезанные на дисковых ножницах) заготовки.

На рис. 1.24 показан *комбинированный штамп* для одновременной вырубки заготовки и вытяжки кожуха с фланцем. Штамп предназначен для кривошипного прессы простого действия. Вырубная матрица 1 и вытяжной пуансон 3 закреплены в нижней плите штампа. Матрица-пуансон 4, служащая вырубным пуансоном и вытяжной матрицей, прикреплена к верхней плите. Необходимый

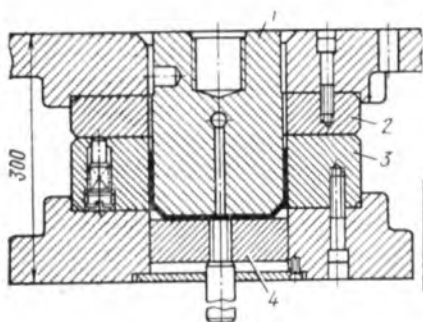


Рис. 1.23. Вытяжной штамп для прессы двойного действия

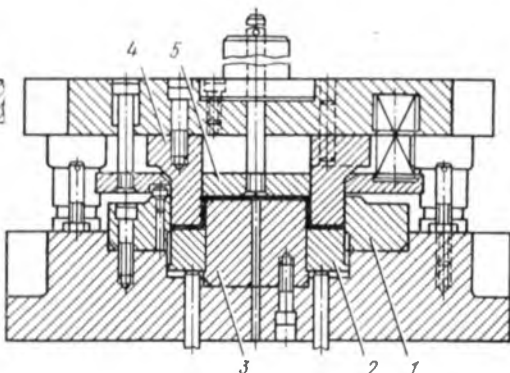


Рис. 1.24. Комбинированный штамп для одновременной вырубки и вытяжки

для вытяжки прижим создается прижимным кольцом 2, действующим от нижнего буфера. Отход с пуансона-матрицы снимается пружинным съемником. Деталь выталкивается выталкивателем 5 принудительного действия (от планки прессы).

Глава 2

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ

1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ

Условия эксплуатации и стойкость штампов зависят от многих взаимосвязанных факторов. Основные из них можно разделить на металлургические, конструктивные, технологические и эксплуатационные.

К металлургическим факторам относятся химический состав и качество штамповой стали, способ ее выплавки и разливки.

К конструктивным факторам относятся характер напряженного состояния штампа, формирующегося в процессе эксплуатации (изгиб, растяжение, сжатие); направление течения металла по отношению к следам от чистовой механической обработки гравюры; место расположения гравюры (в подвижном или неподвижном блоке штамповочной машины) и глубина ручья; размеры и группа сложности поковки (наличие выступающих элементов и концентраторов напряжений); соотношение между массой поковки и штампа; метод (облойный, безоблойный и др.) и способ (продольный, поперечный) штамповки; наличие заготовительных и чернового ручьев; преобладающий вид износа и кинетика изменения отдельных размеров гравюры; подогрев (способ, равномерность, конечная температура) и охлаждение штампов; применение вставок для быстроизнашивающихся участков гравюры или для всей гравюры.

К *технологическим* факторам относятся способ и технология получения штампового кубика, способ предварительного изготовления гравюры, технология отжига поковок, технология окончательной закалки и отпуска, технология доводки гравюры (шлифование, полировка пастой или алмазная, гидрополировка, электролитическая полировка и др.), технология поверхностного упрочнения гравюры (химико-термическая обработка, электроискровое упрочнение, обработка поверхностным пластическим деформированием и др.).

К *эксплуатационным* факторам относятся кинематические и динамические особенности основного оборудования; мощность, состояние оборудования и настройки штампов; материал поковки; температурный интервал штамповки (температура начала и конца деформации); метод нагрева заготовок (стабильность и равномерность нагрева, наличие окалины на поверхности); удельные силы и распределение их по полости штампа; смазка штампов (состав, способ подачи, равномерность покрытия контактной поверхности, механизм действия); тепловой режим работы штампа (продолжительность цикла и отдельных его этапов, максимальная и минимальная температуры на контактной поверхности, средняя температура штампа при квазистационарном тепловом режиме, эффективность подогрева — охлаждения, скорость деформирования, надежность удаления поковки из ручья); шероховатость поверхности поковки и припуск на последующую механическую обработку.

Рассмотрим влияние некоторых из указанных факторов на условия службы кузнечно-штамповой оснастки.

2. СКОРОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШТАМПОВКИ

При пластическом деформировании металлов и сплавов различают следующие скоростные параметры: скорость деформирования (скорость движения деформирующего инструмента); скорость течения материала заготовки относительно гравюры инструмента; скорость деформации (или скорость изменения степени деформации).

Кроме того, пользуются следующими понятиями: характер деформирования (характеристика процесса деформирования и нагружения инструмента) — статический или динамический; время контакта поковки и инструмента под давлением; время цикла штамповки (время изготовления одной поковки).

Скоростные параметры штамповки и характер их изменения зависят от кинематических особенностей кузнечно-прессового оборудования. При деформировании заготовок на станах для раскатки колец, накатки зубьев шестерен и ковочных вальцах *скорость деформирования* U постоянна на протяжении всего времени контакта τ_k поковки и инструмента под давлением (рис. 2.1, а). У кривошипных машин скорость деформирования изменяется по синусоидальному закону (рис. 2.1, б). У машин ударного действия

скорость деформирования в процессе штамповки изменяется по более сложному закону, так как и скорость, и путь деформации зависят не только от потенциальной энергии, но и от сопротивления деформированию (рис. 2.1, а).

От скорости деформирования зависят энергосиловые параметры процесса

штамповки. Определенное влияние скорость деформирования оказывает на сопротивление деформированию различных сталей и сплавов. С ростом скорости деформирования увеличиваются: тепловыделение, напряжения, возникающие от действия инерционных сил, удельные силы; коэффициент трения уменьшается. При низких скоростях деформирования (жидкая и изотермическая штамповки) удельные силы деформирования минимальны и не превышают 50—150 МПа для любых материалов. При высокоскоростной штамповке (на молотах, КГШП, ГКМ и др.) удельные силы деформирования достигают 300—600 МПа (алюминиевые сплавы) и 400—1200 МПа (стали и жаропрочные сплавы).

Скорость течения металла влияет на контактное трение и теплопередачу между деформируемой заготовкой и штампом, а также на воздействие инерционных сил; она зависит от схемы деформации и увеличивается с ростом степени деформации.

Скорость деформации определяет соотношения процессов упрочнения и разупрочнения деформируемого металла, а следовательно, и его сопротивление деформированию.

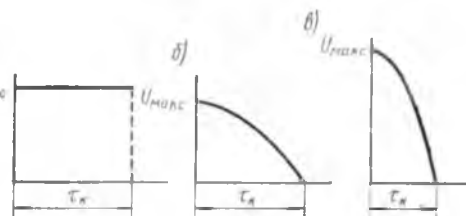


Рис. 2.1. Изменение скорости деформирования на различных кузнечно-штамповочном оборудовании

3. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШТАМПОВКИ

Температурный режим оказывает решающее влияние на долговечность деформирующего инструмента. При повышении температуры изменяются механические свойства и структура материала; в результате неравномерного распределения температур появляются напряжения и деформации. Эти явления в сочетании с механическим воздействием на рабочую поверхность и течением деформируемого металла определяют вид износа гравюры: истирание, смятие или разгар.

Основными параметрами температурного режима деформирующего инструмента являются температура поверхности гравюры, амплитуда колебаний температуры на поверхности гравюры и в ближайших к ней слоях материала, температура и глубина прогретого слоя штампа.

К факторам, определяющим температурный режим работы штампов, относятся: исходные температуры заготовки и штампа (основные факторы); теплофизические свойства материалов заго-

товки и штампа; термическое сопротивление пограничных слоев и зазора между заготовкой и штампом; условия отвода теплоты во внутренние слои штампа и окружающую среду; время цикла штамповки, продолжительность и характер контакта поверхности гравюры с заготовкой.

Повышение температуры процесса штамповки и предварительный подогрев штампа, с одной стороны, увеличивают рабочую температуру штампа, а значит снижают показатели механических свойств и сопротивление разгари, что вызывает снижение стойкости; с другой стороны, уменьшают термические напряжения в теле штампа и удельные силы деформирования, что повышает стойкость. Очевидно, оценка влияния температур заготовки и штампа на стойкость может быть произведена только на основании анализа непосредственных причин изменения формы гравюры на конкретном участке штампа.

Термическое сопротивление пограничных слоев оказывает весьма заметное влияние на температурный режим работы штампа. Перепад максимальных температур на поверхностях гравюры и заготовки, как показывают экспериментальные и расчетные данные, составляет 100—400 °С. Наличие пограничного слоя, состоящего из окалины и вязкого смазывающего материала, может снизить максимальную температуру штампа в 2 раза. Термическое сопротивление пограничных слоев определяется целым рядом трудноучитываемых факторов, таких, как состав, толщина, структура и пористость, теплофизические свойства материала этих слоев и т. п., а также зависит от давления, шероховатости поверхности гравюры, степени пластической деформации. Толщина пограничного слоя влияет на его термическое сопротивление гораздо сильнее, чем его теплофизические свойства. При изменении давления от 2 МПа (наложение заготовки на штамп) до 20—30 МПа (процесс деформирования) термическое сопротивление контактного пограничного слоя уменьшается в 3 раза и стабилизируется.

Условия теплоотвода во внутренние слои штампа определяются в первую очередь теплотехническими свойствами материала и распределением температур. Температурные поля, в свою очередь, зависят от конфигурации штампа, расположения и мощности охлаждающих устройств.

Время цикла штамповки задается технологическими факторами и типом применяемого оборудования:

Штампы...	молотовые	фрикционных прессов	ГКМ	КГПП
Время цикла штамповки, с...	0,010—0,015	0,085—0,1	0,08—0,1	0,1
Температура поверхности гравюры, °С...	450—600	500—600	570—620	550—650

Целесообразно разделить процесс теплопередачи на следующие этапы:

контакт при укладке заготовки. Теплопередача происходит в основном за счет излучения. Давление минимально, теплопередача за счет теплопроводности лишь в отдельных точках касания заготовки с поверхностью гравюры при большом термическом сопротивлении контактного слоя. Количество теплоты, передаваемое штампу на этой стадии, не превышает 1—2 %;

контакт при воздействии деформирующей силы. Термическое сопротивление контактного слоя минимально. Штамп нагревается в основном за счет теплопроводности и получает 80—95 % всей теплоты. На некоторых участках гравюры наблюдается срыв частиц поверхности, что приводит к тому, что обнажаются близлежащие слои материала;

контакт при снятии деформирующей силы — заготовка находится в штампе в промежутке между ударами или до ее удаления. Поведение контактного слоя аналогично отмеченному при контакте во время укладки заготовки с той разницей, что форма заготовки близка к форме гравюры, а зазоры могут образоваться только за счет пружинения заготовки;

промежуток между снятием поковки и укладкой следующей заготовки. Теплопередача с поверхности гравюры идет в обратном направлении — в окружающую среду за счет излучения и конвекции, испарения или разложения охлаждающих средств и др.

Такое деление удобно для оценки «средних» температур штампа. Если же подойти с точки зрения оценки температуры отдельных участков гравюры, то уже на первом этапе следует выделить те участки гравюры, которые вступают в контакт с заготовкой и получают теплоту посредством теплопроводности при условии, правда, весьма малых контактных давлений. На втором этапе всегда имеются такие участки, где еще контакт гравюры с заготовкой не наступил и передача теплоты происходит за счет излучения или перераспределения теплоты с соседними участками. Время контакта таких участков с заготовкой (поковкой) в 3—5 раз меньше, чем на других участках.

Температура штампа может быть определена экспериментально и аналитически. При экспериментальном определении используют термодатчики, вмонтированные в тело штампа, либо контактные термодатчики, прижимаемые к его поверхности. Иногда о температуре судят по изменению микроструктуры и твердости отдельных участков штампа.

На рис. 2.2 показаны типичные температурные кривые для пресовых штампов на различной глубине от поверхности гравюры. Кривые построены для цилиндрической поверхности штампа, не имеющей в начальный период непосредственного контакта с заготовкой, но получающей контакт с ней на ранней стадии деформирования. Многочисленные исследования показывают, что температура поверхности штампов при первых ходах прессы достигает 500—550 °С, падая после снятия нагрузки до 180—220 °С. Амплитуда колебаний температуры на поверхности составляет в период разогрева штампа ~ 320 °С. При установившемся режиме темпе-

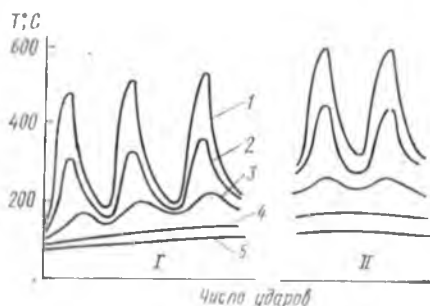


Рис. 2.2. Изменение температуры прессовых штампов в начале штамповки (I) и при установившемся режиме (II):

1 — температура поверхности; 2 — 5 — температура на различном расстоянии от поверхности

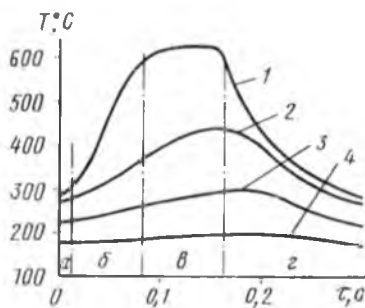


Рис. 2.3. Температурный цикл прессового штампа:

1 — температура поверхности; 2—4 — температура на различном расстоянии от поверхности; α, β, β, ε — этапы теплопередачи

температура поверхности гравюры гораздо выше: максимальная температура имеет значение порядка 600°C , а минимальная 320°C , амплитуда колебаний уменьшается до $\sim 280^{\circ}\text{C}$.

Для молотовых штампов максимальная температура поверхности гравюры после первых ударов 480°C , а при установившемся режиме 600°C ; амплитуда колебаний температуры поверхности изменяется до 300°C , т. е. оказывается примерно в тех же пределах, что и для прессовых штампов.

На рис. 2.3 показаны кривые изменения температуры прессовых

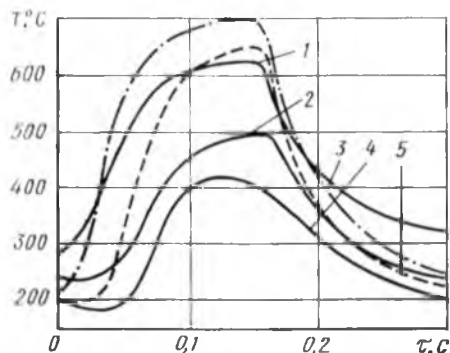
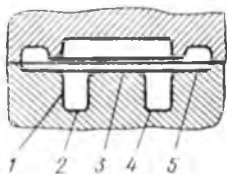


Рис. 2.4. Температуры поверхности различных участков гравюры прессового штампа

штампов при установившемся режиме по этапам теплопередачи. Повышение температуры поверхности при укладке заготовки (этап α) составляет всего $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$. Это показывает незначительность влияния теплопередачи за счет излучения. На втором этапе (β), соответствующем контакту поверхности гравюры с заготовкой под давлением, штамп получает основное количество теплоты, наблюдается резкий рост температуры. На третьем этапе (β) — контакт с заготовкой при снятой нагрузке — наблюдается небольшой дальнейший рост температуры. Четвертый этап (ε) соответствует охлаждению штампа после снятия поковки.

На рис. 2.4 сопоставлены температурные кривые для различных участков гравюры: цилиндрической стенки 1, дна полости штампа 2, бобышки 3, облойного мостика 5 и угла у дна полости 4. Разогрев выступающей бобышки начинается раньше других элементов вследствие более раннего соприкосновения с заготовкой. Бобышка нагревается до 700°C , т. е. на 80°C выше, чем цилиндрическая стенка. Дно полости начинает нагреваться позже; максимальная температура дна полости не превышает 500°C . Облойный мостик также начинает нагреваться позже, но нагревается несколько сильнее, чем стенка. Интенсивность нагрева на бобышке и мостике приблизительно 10^4 , а на стенке и по дну $8 \cdot 10^3$ град/с.

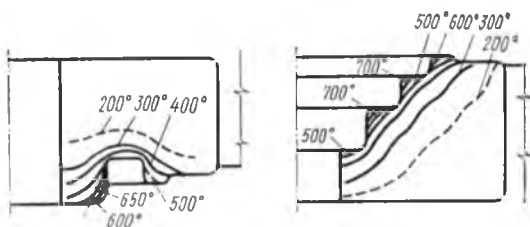


Рис. 2.5. Изотермы прессовых штампов

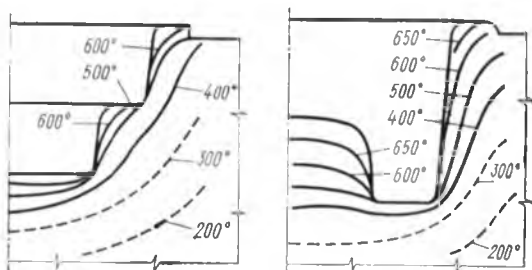


Рис. 2.6. Изотермы молотовых штампов

Экспериментальные данные, основанные на косвенном методе определения температуры по твердости с учетом поправок на временные зависимости, дали возможность построить картину распределения температур по телу штампа. На рис. 2.5 и 2.6 показаны поля распределения максимальных температур в теле прессовых и молотовых штампов. Между температурными полями прессовых и молотовых штампов имеется определенная аналогия. Качественно картина распределения температур у мостика, на выступающих элементах гравюры и бобышках в обоих случаях примерно одинакова. Однако в количественном отношении отмечается определенная разница. У молотовых штампов толщина прогреваемых слоев на выступающих элементах несколько больше. Особенно это относится к бобышкам.

Следует отметить, что на различных участках штампа независимо от вида оборудования наблюдаются различия в температуре и глубине прогретого слоя. Если в качестве критерия для оценки границ прогретого слоя принять усредненную температуру основного объема штампа, то средняя температура прогретых слоев прессовых штампов $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$, а молотовых $250\text{--}300^{\circ}\text{C}$. Естественно, толщина прогретых слоев зависит от конфигурации и соотношения объема и поверхности гравюры и остальной части штампа.

Аналитическое определение температуры штампа основывается на решении по крайней мере комплекса из трех систем уравнений:

передачи теплоты за счет излучения, конвекции и теплопроводности. В качестве переменных в этих уравнениях должны быть учтены температурно-временные факторы процессов передачи теплоты, технологические свойства материалов, геометрические параметры контактирующих тел, термическое сопротивление пограничного слоя и др. Принципиальное решение такой задачи возможно, однако отклонения технологических режимов, неопределенность свойств пограничного слоя, неточность констант, входящих в расчетные формулы, приводят к таким погрешностям, что точность расчетных формул практически оказывается невысокой. Хорошее совпадение вычисленных температур с экспериментальными данными возможно лишь при достаточно точном знании исходных параметров для конкретного вида оборудования.

4. СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШТАМПОВКИ

Реактивные силы, действующие на штамп при деформировании заготовки, вызывают упругую или упругопластическую деформацию отдельных участков гравюры и всего штампа, являются причиной износа, появления трещин, а в отдельных случаях и разрушения инструмента. Кроме того, от силовых условий эксплуатации штампов зависят теплопередача от поковки к штампу, контактное трение, особенности возникновения и развития разгарных трещин. Наконец, фазовые и структурные превращения в поверхностном слое гравюры штампа следует связывать не только с тепловым, но и с силовым воздействием деформируемого металла на штамп.

Силовой режим эксплуатации штампов характеризуется *средней удельной силой деформирования* q (отношением полной силы деформирования к площади проекции поковки на плоскость, перпендикулярную направлению силы деформирования) и *максимальной удельной силой деформирования* $q_{\max}$. В общем случае методы расчета силовых параметров эксплуатации штампов сводятся к определению средней удельной силы деформирования при соответствующих температурно-скоростных условиях деформации; при этом учитывают влияние схемы и степени деформации, а также конфигурации штампа.

При линейном напряженном состоянии значение средней удельной силы деформирования соответствует значению сопротивления деформированию; при сложном напряженном состоянии и развитом контактном трении — превышает. При этом под сопротивлением деформированию понимают напряжение одноосного растяжения или сжатия при данных условиях деформации (температура, скорость и степень деформации и др.).

Установлено, что наибольшее сопротивление деформированию имеют стали и сплавы с устойчивой аустенитной структурой. У этих сталей и сплавов при повышении температуры сопротивление деформированию уменьшается в меньшей мере, чем у перлит-

ных и ферритных сталей; однако при увеличении скорости деформации их сопротивление деформированию возрастает более интенсивно.

Никелевые и титановые сплавы, тугоплавкие металлы (молибден, вольфрам и др.) и высоколегированные стали с повышенным сопротивлением деформированию и низкой пластичностью при высоких температурах относят к труднодеформируемым материалам.

При осадке заготовок из углеродистых и легированных сталей при температуре 1150°C $q=15\div 35$ МПа, его значение мало зависит от химического состава стали, но несколько возрастает при увеличении степени деформации. Иная картина наблюдается при осадке заготовок из высоколегированных жаропрочных сплавов при этой температуре. Средняя удельная сила деформирования в этом случае в 5—8 раз выше; при увеличении степени деформации она возрастает более интенсивно. При осадке заготовок из сплавов на основе меди $q=15\div 35$ МПа при температуре $650\text{—}950^{\circ}\text{C}$.

При открытой облойной штамповке можно выделить две стадии процесса заполнения штампа. На первой стадии полость штампа заполняется свободно; при этом средняя удельная сила деформирования относительно невелика. На второй стадии излишки металла вытесняются в облой и заполняют труднодоступные участки гравюры. В этом случае средняя удельная сила деформирования значительно превышает ее значение на первой стадии штамповки.

При штамповке тонких поковок (полотен) средняя удельная сила деформирования выше, чем при штамповке утолщенных поковок, из-за неравномерности деформации и большей скорости охлаждения тонких поковок в процессе штамповки. Средняя удельная сила деформирования зависит и от расположения облоя. Так, при штамповке на ГKM поковок типа дисков с поперечным облоем (излишек металла вытесняется в направлении, перпендикулярном движению пуансона) q на 10—50 % меньше, чем при штамповке с торцовым облоем (избыток металла вытесняется навстречу пуансону).

При штамповке поковок сложной конфигурации возрастает неравномерность деформации и, следовательно, средняя удельная сила деформирования увеличивается. Так, при штамповке заготовок цилиндрических шестерен из конструкционных сталей без оформления зубьев (поковки простой формы) $q=250\div 300$ МПа; при оформлении зубьев на тех же поковках (поковки сложной конфигурации) q увеличивается более чем в 2 раза. При штамповке поковок сложной конфигурации в закрытых штампах q может достигать 800—900 МПа. В этих условиях стойкость штамповой оснастки существенно снижается и штамповка может стать неэкономичной. Для оценки сложности конфигурации круглой в плане поковки предложен критерий

$$S_n = \frac{(P^2/A)_{\text{п}}}{(P^2/A)_{\text{п.н}}} \frac{2R_{\text{п.т}}}{R_{\text{п}}}, \quad (2,1)$$

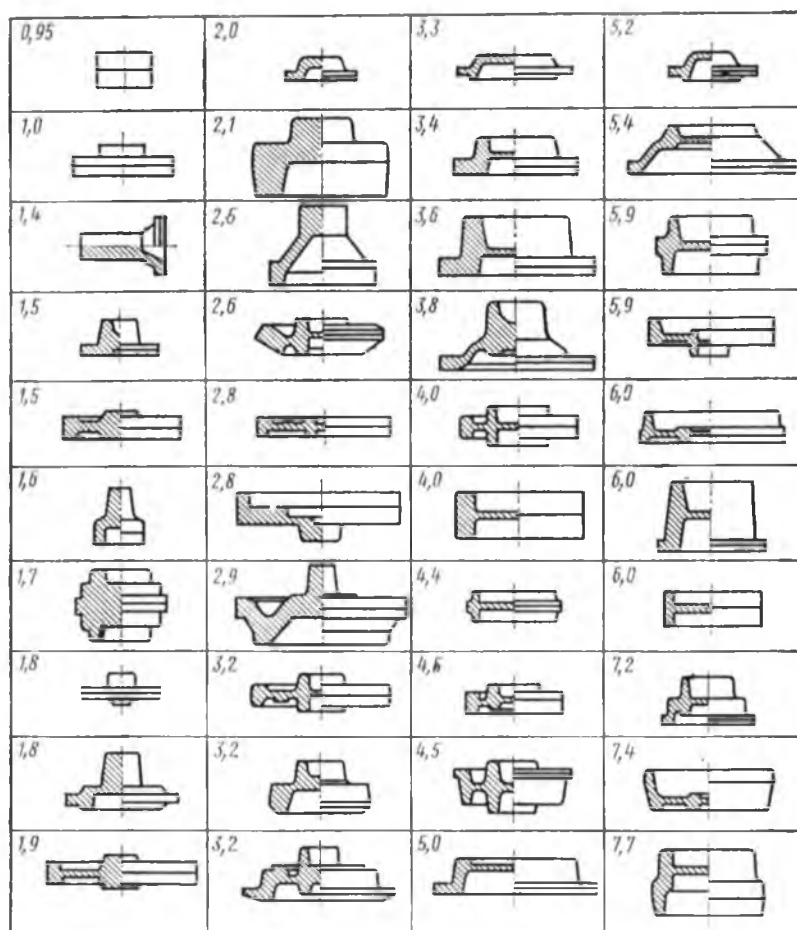


Рис. 2.7. Примеры круглых в плане поковок; цифрами обозначен критерий сложности конфигурации S_n

где L — периметр; A — площадь поперечного сечения; R_n — радиус поковки; $R_{ц.т}$ — радиус центра тяжести половины осевого сечения поковки. Индекс «п» относится к поковке, а индекс «ц. п» — к цилиндрической поверхности, описанной вокруг поковки.

На рис. 2.7 цифрами указан критерий сложности S_n , рассчитанный по этой формуле для поковок различной конфигурации. Рациональную конструкцию облойного мостика, обеспечивающую минимальные расход металла в облой и среднюю удельную силу деформирования и, следовательно, высокую стойкость штампов, проектируют с учетом критерия сложности конфигурации поковки S_n (см. гл. 7).

5. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ШТАМПОВ

Особенности хрупкого разрушения. Напряженное состояние штампов определяется контактными нормальными σ_k , контактными касательными τ_k , остаточными σ_0 и тепловыми σ_T напряжениями.

Современная теория разрушения металлов основывается на том, что разрыв металла начинается задолго до достижения максимальной нагрузки и заканчивается при понижении силы до нуля. Процесс разрушения подразделяют на три основных этапа: нагромождение дислокаций на некотором препятствии, возникновение трещины при слиянии дислокаций и распространение трещины. Дислокации, генерируемые источником, под действием сдвигающих напряжений перемещаются в плоскости сдвига. При встрече плоскости сдвига с барьером, в качестве которого могут служить пересекающиеся системы полос дислокаций, границы зерен и блоков, закрепленные дислокации, частицы упрочняющей фазы, а также поверхностные пленки, препятствующие выходу дислокаций из металла, возникают области сжатия и растяжения. Трещины образуются в том случае, если напряжение достаточно для насильственного соединения (слияния) по крайней мере двух дислокаций. Следовательно, прочностная характеристика материала должна состоять из двух связанных между собой параметров: напряжений и длины трещины.

Это не означает, что не имеет практического смысла применять другие методы оценки вязкости разрушения. Целесообразно даже сохранить представление о критическом напряжении, при котором наступает хрупкое разрушение, поскольку упругие напряжения являются мерой напряжений и деформаций в пределах пластической зоны. Следует также на первой стадии исследования новых штамповых материалов или способов упрочнения применять наиболее простые и дешевые испытания и только после отборочных испытаний использовать более строгий метод, обеспечивающий получение характеристик требуемой достоверности.

Экспериментальные методы исследования напряжений. Напряженное и деформированное состояния деформирующего инструмента можно исследовать аналитически и экспериментально. Однако применение аналитических методов возможно лишь для изделий простейшей геометрической формы. В большинстве случаев (особенности для штампов сложной формы) используют экспериментальные методы, которые можно разбить на несколько групп: применяемые при измерении упругих и малых упругопластических деформаций; используемые при измерении значительных упругопластических деформаций; позволяющие измерять остаточные напряжения и деформации; применяемые при измерении деформаций и напряжений, вызванных неравномерными температурными полями.

При измерении *упругих и малых упругопластических деформаций* используют механические, пневматические, акустические, оптические и другие виды тензометров, а также метод лаков. Из тензометрических наиболее удобен метод проволоочной тензометрии,

позволяющий получать практически полную картину изменения напряжений на поверхности изделия. Он дает возможность регистрировать быстро протекающие процессы, измерять деформации в малодоступных участках, передавать результаты измерений по проводам на значительное расстояние. Рабочим элементом, фиксирующим деформации, является тензодатчик сопротивления.

Принцип действия тензодатчика основан на том, что при растяжении или сжатии изменяется сопротивление электрического проводника. Регистрируя изменение электросопротивления наклеенного на изделие проводника, можно определить деформацию поверхности.

Есть несколько типов тензодатчиков сопротивления. Наиболее распространены датчики с петлевой намоткой проволоки, их основой служит тонкая бумага, к которой приклеена проволоочная решетка в виде нескольких петель. К концам решетки припаяны выводы, сечение которых позволяет подключать тензодатчик к измерительной аппаратуре.

Метод лаков заключается в следующем: на поверхность изделия наносят слой лака толщиной 0,07—0,15 мм, имеющего хорошую адгезию к поверхности. При определенной деформации лаковое покрытие дает трещины, располагающиеся перпендикулярно направлению наибольших деформаций. Достоинство этого метода в том, что он дает полную картину распределения деформаций, недостаток — малая точность, так как наибольшее удлинение, при котором лаковое покрытие разрушается, зависит от температуры изделия и сушки, влажности воздуха и др. При высоких температурах вместо лаков используют эмали.

Для измерения *значительных упругопластических деформаций* методы проволоочной тензометрии и лаковых покрытий малоприменимы. В этом случае лучшие результаты дают другие методы, из которых наиболее распространен метод делительной сетки.

Делительную сетку на поверхность изделия можно наносить различными способами. При применении фотосетки на полированную поверхность изделия (штампа) наносят светочувствительный раствор и просушивают. Изделие и негатив делительной сетки помещают в разъемную раму. В одну из рам вставлено зеркальное стекло, на которое помещают негатив сетки, а на негатив (светочувствительным слоем к негативу) — изделие; закрывают другой рамой, на которую натянута резина. Из образующейся полости откачивают воздух, и атмосферное давление прижимает изделие к негативу, а его к стеклу рамы. После этого стекло освещают лампой. После экспозиции изделие промывают водой. Светочувствительный слой прилипает к поверхности в местах, подвергнутых яркому освещению, т. е. там, где негатив был прозрачным (линии сетки); остальные участки легко смываются водой. Проявленную поверхность изделия на несколько секунд опускают в краситель; оставшаяся после проявления почти невидимая сетка окрашивается в темный цвет.

При применении травленых сеток на поверхность штампа плот-

но накладывают трафарет делительной сетки и окрашивают нитро-краской. После сушки поверхность травят. Делительные сетки, полученные таким методом, устойчивы к изнашиванию и высоким температурам. Делительную сетку на штампы можно наносить также методами накатывания и напыления.

Разновидностью метода делительных сеток является определение деформации по отметкам на поверхности деформируемого тела. На поверхность штампа наносят отметки на известном расстоянии между ними. При появлении пластической деформации расстояния между отметками меняются. Измеряя каким-либо методом расстояние между отметками (например, методом дифракционного отражения от линейных отметок, прорезанных алмазным инструментом), можно получить картину распределения деформаций на участке штампа.

Иногда для определения значительных пластических деформаций используют метод микротвердости, метод деформации вспомогательного (инородного) тела, метод травления деформированной поверхности, карбидный анализ и др.

Остаточные напряжения могут быть определены механическими и рентгеноструктурными методами. Остаточными называют напряжения, образовавшиеся в деталях в результате силового и температурного нагружения и продолжающие существовать при отсутствии внешних нагрузок. Эти напряжения могут быть результатом предварительной пластической деформации, тепловой обработки или некоторых видов технологической обработки изделия (литье, сварка, прокатка, точение, шлифование, фрезерование, дробеструйная обработка и т. д.). Опыт показывает, что остаточные напряжения оказывают существенное влияние на долговечность штампов. Разрушения при низких напряжениях в первые часы эксплуатации часто оказываются результатом наличия значительных остаточных напряжений.

Особое место среди экспериментальных методов изучения напряженного состояния деталей (в том числе штампов) занимает поляризационно-оптический. Он позволяет быстро и точно решать сложные практические задачи, определять действительное напряженное состояние в объеме тела, давая одновременно наглядную картину распределения напряжений.

Моделирование напряженного состояния рабочих деталей при поляризационно-оптическом методе основано на способности прозрачных изотропных материалов временно приобретать свойство двойного лучепреломления при наложении силового поля. Эти изменения оптических свойств характеризуют напряжения в материале.

В качестве основного материала обычно используют оптически активный материал 340-М или ЭД6-М на основе эпоксидной смолы. Эти материалы обладают механической изотропностью, необходимой прозрачностью, высокой оптической активностью, линейной зависимостью между напряжением и порядковым номером полосы интерференции и хорошей механической обрабатываемостью.

Поляризационно-оптический метод нашел широкое применение и в исследованиях *температурных напряжений*. Его использование возможно в двух направлениях:

напряжения в модели, пропорциональные искомым температурным напряжениям в натуре, создаются моделированием температурного поля (метод нагреваемых или охлаждаемых моделей);

напряжения в модели создаются механическим воспроизведением в некотором масштабе температурных деформаций, соответствующих заданному температурному полю (метод ненагреваемых моделей).

Однако на сегодняшний день с применением поляризационно-оптического метода решены относительно несложные температурные задачи.

Напряжения в деформирующем инструменте. Разрушение штампов прямо или косвенно связано с образованием чрезмерно высоких напряжений. Значения напряжений зависят как от условий эксплуатации, так и от конструкции штампа. Так, в молотовых штампах, подвергающихся значительным динамическим воздействиям в процессе эксплуатации, уровень формирующихся напряжений зависит от расположения центра штамповочного ручья, толщины стенок и расстояния между ручьями, типа замка, способа крепления штампов и др.

Многие практические решения в конструировании и эксплуатации штампов могут быть получены на основе картины изохром (геометрического места точек одинаковых значений максимального касательного напряжения). Но для более полного анализа напряженного состояния штампов требуется построение изоклин — геометрического места точек, в которых главные напряжения параллельны. Как только будут зарисованы изоклины (рис. 2.8, а), можно переходить к построению траекторий главных напряжений (изостат). Для этого на каждой изоклине (рис. 2.8, б) с параметрами 20, 40, 60 и 80° наносят ряд штрихов, наклоненных к горизонтальному направлению под углом, равным параметру изоклины. Затем на листе прозрачной бумаги, наложенном на картину изо-

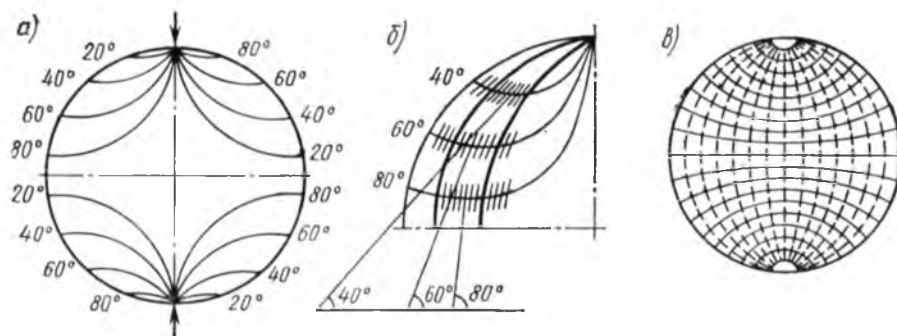


Рис. 2.8. Построение траекторий:

а — поле изоклин; б — разметка изоклин; в — поле изостат

клин, от руки проводят плавную линию главного напряжения. Вторую траекторию главных напряжений строят из условия ее ортогональности к первой изостатической линии. В результате образуется ортогональная сетка. Причем одна из линий должна подходить к свободному от нагрузки контуру перпендикулярно, поскольку на таком контуре одно из главных напряжений равно нулю. На рис. 2.8, в показаны траектории главных напряжений, построенные по данным рис. 2.8, а.

Располагая картинками изохром и изоклин, а также краевыми условиями, можно определить компоненты напряжений для каждой точки модели. Напряжения определяют вдоль произвольных линий, исходящих из точек контура с известными напряжениями, путем постепенного суммирования приращений напряжений.

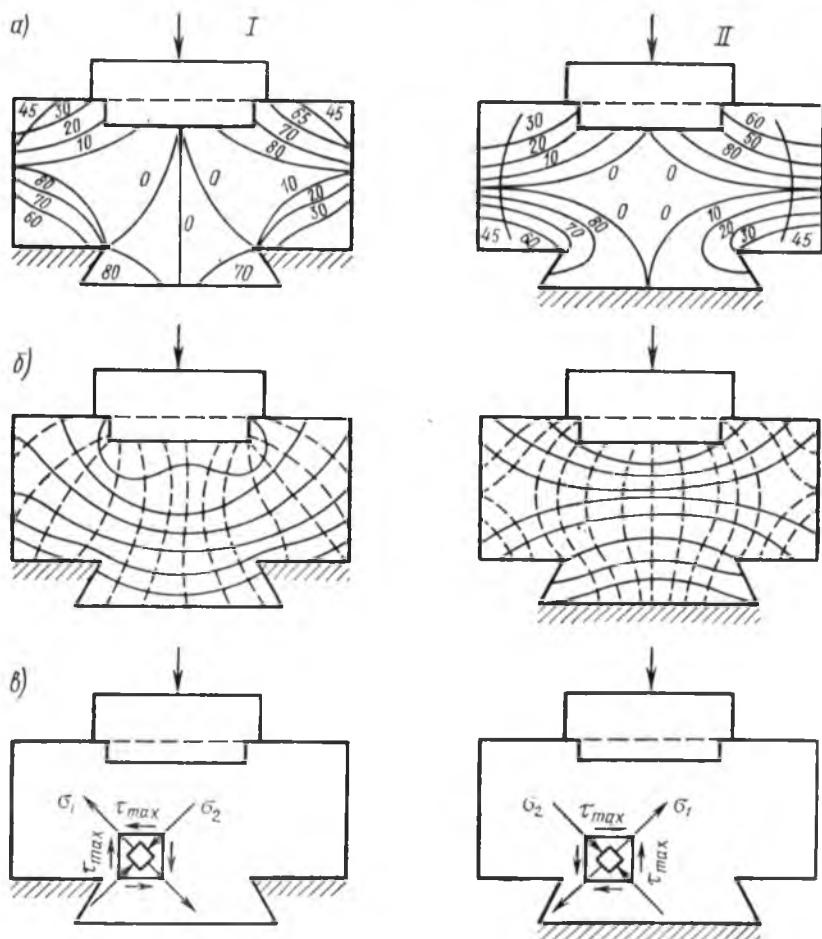


Рис. 2.9. Изоклины (а), траектории главных напряжений (б) и схемы напряженного состояния на переходе от хвостовика к заплечикам (в).
Способы крепления: I — на заплечики; II — на хвостовик

По изоклинам, траекториям главных напряжений и схемам напряженного состояния (рис. 2.9, а—в), построенным для конкретного штампа, нетрудно определить направление развития трещин, если они возникнут в процессе эксплуатации. Правда, в определении направления развития трещин следует проявить некоторую осторожность, поскольку картины отвечают только процессу нагружения штампа.

Располагая информацией о картине изохром, показывающей форму и размеры очага концентрации напряжений, можно, например, наметить геометрию разделки глубоких трещин при восстановлении штампов наплавкой. Наплавку можно также использовать для заплавления очага вероятного образования аварийной трещины вязким материалом еще на стадии изготовления штампов.

Значительный интерес представляет изучение закономерностей распределения напряжений по рабочей поверхности штампов с учетом сил контактного трения. Располагая значениями нормальных и касательных напряжений в каждой точке контактной поверхности в процессе относительного скольжения металла по гравюре штампа, можно не только получить сведения о силовом режиме деформирования, но и судить с определенной полнотой о характере течения металла при формоизменении.

Нормальные и касательные напряжения и их распределение по вертикальной стенке закрытого штампа в зависимости от степени заполнения углов полости определяют, как правило, поляризационно-оптическим методом. Эксперименты в этом направлении проводились различными исследователями. На основе анализа изохром и удельных сил штамповки определялись удельные давления на стенки гравюры штампа. Затем определялись напряжения по всему объему штампа.

6. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Контактное трение при горячем и холодном деформировании оказывает большое влияние на работоспособность штампов. Поэтому существенная роль принадлежит подбору экономичных и эффективных смазочных материалов. Смазочные материалы должны создавать прочную незасыхающую пленку, способную выдерживать значительные давления, и уменьшать удельную силу деформирования; обеспечивать хорошее прилипание и равномерное распределение смазывающего слоя по поверхности; легко удаляться с поверхности деталей; быть химически стойкими и безвредными; иметь невысокую стоимость и легко наноситься на поверхность штампов. Помимо этого смазочные материалы, используемые при горячем деформировании, должны способствовать уменьшению теплопередачи между поковкой и штампом; уменьшать подстуживание деформируемого металла и неравномерность деформации; снижать температуру нагрева штампа.

В отечественном и зарубежном кузнечно-штамповочном производстве наиболее широко используют следующие группы смазочных материалов:

Солевые смазочные материалы, представляющие собой водный раствор поваренной соли и других солей с концентрацией от 5 % до насыщенного. Они имеют высокую охлаждающую способность, снижают коэффициент трения, но мало влияют на теплопередачу между поковкой и штампом.

Масляные смазочные материалы, состоящие из различных масел (машинное, индустриальное, мазут, тяжелое марки ВАПОР, солидол) с присадками: графит (от 20 до 40 %), дисульфид молибдена, свинцовые белила и т. п. Применение масляных смазочных материалов предпочтительнее солевых, так как масляные смазочные материалы наряду с хорошими антифрикционными свойствами и охлаждающей способностью обеспечивают лучшую тепловую изоляцию между поковкой и штампом, однако они сильно дымят, что, естественно, ухудшает условия труда штамповщика.

Водные суспензии графита (от 5 до 40 %) с добавкой сульфитного щелока, жидкого стекла и различных стабилизирующих веществ. По антифрикционным и теплоизоляционным свойствам смазочные материалы такого рода лучше, чем солевые и масляные.

Водные растворы органических соединений (например, сульфитно-спиртовой барды — 10—33 %) с добавкой графита и различных стабилизирующих веществ. Такие смазочные материалы характеризуются высокими теплоизолирующими, охлаждающими и антифрикционными свойствами. Недостатки их — специфический неприятный запах и ухудшение условий эксплуатации оборудования.

Стеклосмазки и стеклоэмали, представляющие собой расплавы различных оксидов; их применяют для защиты заготовок от окисления и для смазки. Стеклосмазки и стеклоэмали характеризуются высокими антифрикционными и теплоизолирующими свойствами; их применение особенно эффективно при горячей объемной штамповке и выдавливании поковок из нержавеющей и жаропрочных сталей, титановых и никелевых сплавов. При штамповке стеклосмазку наносят непосредственно на заготовку; при выдавливании прутков, профилей и труб с большой степенью обжатия стеклосмазку, помимо этого, в виде шайб закладывают в матрицу; этим обеспечивают снижение удельной силы деформирования и температуры нагрева матрицы. Недостаток всех стеклосмазок и стеклоэмалей — сложность нанесения их на заготовку, а также трудоемкости очистки штампа и заготовки после завершения штамповки.

Густые консистентные смазочные материалы наносят на штампы помазком вручную; водографитовые и маслянографитовые, водные растворы солей и различные эмульсии распрыскивают с помощью специальных приспособлений и установок. При открытой штамповке поковок из конструкционных сталей нет необходимости наносить смазочные материалы перед каждой штамповкой; удовлетворительные результаты достигаются при смазывании штампа через каждые 5—10 штамповок. При открытой штамповке поковок из труднодеформируемых материалов, при штамповке в закрытых штампах и при штамповке выдавливанием перед каждой штамповкой

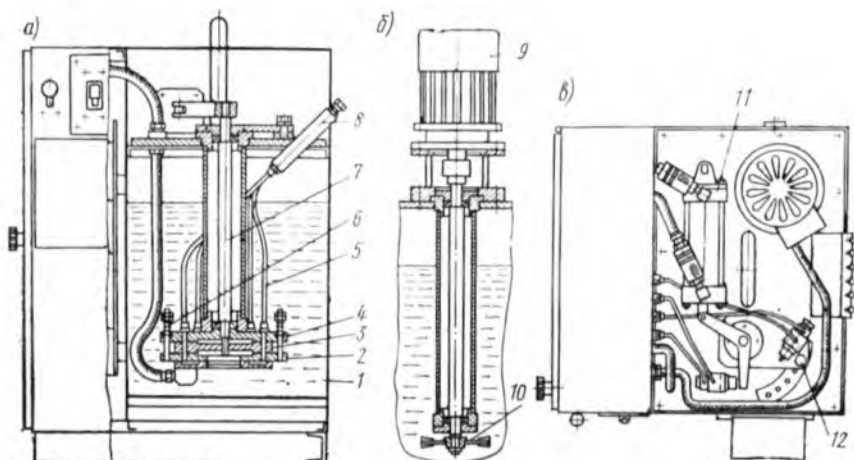


Рис. 2.10. Установка УО-223 для автоматической дозированной смазки штампов:

а — поперечный разрез; б — мешалка; в — вид сверху

необходимо тщательно смазывать штамп; это приводит к уменьшению износа штампа и улучшению качества поковок. Опыт показывает, что применение механизированных и автоматических способов периодического смазывания штампов повышает их стойкость на 20—56 % и в 2—3 раза увеличивается производительность штамповки. Схема одной из таких установок, предназначенной для автоматической дозированной смазки штампа для выдавливания в разъемной матрице поковок крестовины карданного вала, приведена на рис. 2.10, а—в.

В баке-емкости 1, в который заливают смазочный материал, размещают золотниковое устройство, состоящее из диска-дозатора 3 и охватывающих его верхнего неподвижного 4 и нижнего прижимного 2 дисков, а также мешалку 10 с индивидуальным приводом от электродвигателя 9. К нижнему диску 2 подводят сжатый воздух, предназначенный для распыления смазочного материала. От верхнего неподвижного диска 4 отходят трубки 5, которые заканчиваются в распределительной колодке 8. От нее смазочный материал поступает по трубопроводам в штамповое пространство прессы. Пружины 6 обеспечивают плотное прилегание дисков 2, 3 и 4. Диск-дозатор 3 приводится в движение через вал 7 пневмоцилиндром 11, закрепленным на крышке бака. Ход цилиндра регулируют упорным винтом 12. При повороте диска-дозатора 3 его отверстия, заполненные смазочным материалом, совпадают с отверстиями в нижнем 2 и верхнем 4 дисках; при этом сжатый воздух подает смазочный материал к штампу и распыляет его. Установка УО-223 позволяет одновременно подавать по 10 см³ смазочного материала в шесть точек; может работать при ручном и автоматическом управлении.

7. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗНОСА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Анализ условий работы и причин выхода из строя штампового инструмента показывает, что, несмотря на специфические особенности, присущие операциям горячего и холодного деформирования, условия эксплуатации в обоих случаях характеризуются рядом общих признаков. К ним относятся циклически изменяющиеся во времени температура и напряжения, которые достигают значений, близких, а иногда и превышающих ресурсы инструментальных сталей по прочности и теплостойкости; высокие удельные силы, значительные взаимные перемещения инструмента и материала заготовки; образование окалина и т. п. Общей является и тенденция к ужесточению требований, предъявляемых к точности штампуемых изделий, а следовательно, и к стабильности размеров инструментов в период эксплуатации.

Основные виды износа, определяющие изменение формы и выбраковку деформирующего инструмента: истирание, смятие, образование разгарных трещин, хрупкое разрушение.

Истирание, или абразивный износ, наблюдается одновременно по всей поверхности гравюры или на ее отдельных участках (местный износ). Абразивный износ вызывается механическим зацеплением микронеровностей на поверхности гравюры при полусухом трении, контактным схватыванием в микрообъемах, многократной деформацией и усталостным выкрашиванием выступающих элементов микрорельефа, а также твердыми дисперсными абразивными частицами, попадающими в пограничный слой. Как известно, окалина обладает абразивными свойствами благодаря своей значительной твердости, сохраняющейся и при высоких температурах.

При холодной штамповке истирание иногда — основной фактор, определяющий стойкость инструмента. При этом изнашивание происходит в основном из-за абразивного воздействия материала заготовки; иногда оно осложняется усталостным выкрашиванием рабочей части инструмента (при вырубке и пробивке). В процессе горячей деформации интенсивность изнашивания, как правило, увеличивается, что связано с понижением прочности контактной зоны и окалинообразованием. Однако при горячей деформации абразивный износ в большинстве случаев не является основной причиной выхода штампа из строя. Преобладающее значение в этом случае имеют другие виды разрушения (см. ниже).

Местный износ выявляется в виде локальных очагов разрушения, связанных с попаданием в контактную зону твердых частиц, например крупных частиц окалина или металлических осколков. Износ носит характер царапин. Может появляться также при неудачной конструкции штампа, когда наблюдается преимущественное течение заготовки на ограниченном участке гравюры.

Эксплуатация штампов в широком диапазоне давлений, температур, скоростей скольжения деформируемого металла относительно поверхности ручья, толщин смазочного слоя и других условий внешнего трения может сопровождаться одновременным проявле-

нием на гравюре почти всех существующих разновидностей износа при трении скольжения: *износ схватыванием I и II рода, абразивный и окислительный износ*. Однако износу ковочных штампов свойственны некоторые специфические черты, отражающие особенности их эксплуатации. Так, образование новых поверхностей при пластической деформации металлов интенсифицирует процессы схватывания; высокие температуры и давления вызывают пластическое деформирование микрообъемов металла инструмента; циклические нагрузки способствуют появлению усталостных трещин механического и термического происхождения — все это усложняет общую картину износа.

У прессовых штампов часто наблюдается тепловой износ или износ схватыванием II рода. Процессы схватывания интенсифицируются вследствие разогрева приконтактной зоны до температур, превышающих точку A_{c1} материала штампа. В результате образуется зона вторичных структурных превращений. Глубина зоны, нагретой выше температуры A_{c1} , и всей зоны структурных превращений может составлять от 0,2—0,6 (для мелких прессовых штампов) до 10 мм (для штампов крупных гидравлических прессов).

В поверхностном слое металла прессовых штампов, матриц выдавливания, калибровочных матриц и штампов высокоскоростных молотов зачастую обнаруживается структура «белого слоя» толщиной до 0,5 мм. Микротвердость этой слаботравящейся структуры значительно выше исходной; микроструктура представляет собой мартенсит и наклепанный остаточный аустенит. Количество остаточного аустенита, по данным рентгеноструктурного анализа, может достигать 6—18 %. Образование этой структуры обусловлено совместным действием высокой температуры и давления, а также диффузией углерода из смазочного материала. Глубина и твердость участков «белого слоя» по мере возрастания числа отштампованных поковок сначала увеличиваются, а затем появляются все увеличивающиеся зоны выкрашивания; это способствует интенсификации изнашивания штампа.

Сравнивая внешний вид поверхности трения отработавших прессовых и молотовых штампов, следует отметить, что у прессовых штампов поверхность гравюры обычно покрыта крупными складками пластически смещенных слоев, узлами схватывания и следами глубинного вырывания; у молотовых штампов из-за высокой скорости течения деформируемого металла и несколько меньшей температуры нагрева рельеф поверхности трения менее грубый. Более тонкое строение имеет поверхность трения штампов высокоскоростных молотов, при работе которых обеспечиваются наиболее высокие скорости течения деформируемого металла.

Признаки износа схватыванием I рода обнаруживаются на участке сопряжения хвостовика с поверхностью штамподержателя и бабы молота или вставки с опорной поверхностью блока. Развитие этого процесса связано с микроперемещениями штампа или вставки в гнездах крепления при ударах. На боковой поверхности видны скопления впадин и выступов (их высота достигает 1—2 мм).

Смятие. В процессе эксплуатации штампового инструмента (особенно для горячего деформирования) зачастую происходит смятие отдельных элементов гравюры и всего штампа. При этом уменьшается высота выступающих элементов гравюры, искажается ее конфигурация; наблюдается также изгиб пуансонов, игл, оправок и прямоугольных вставок, деформация хвостовиков цельных молотовых штампов и блоков под рабочие вставки, штамповых наборов мощных гидравлических прессов и др.

Микроскопическая деформация контактной поверхности проявляется не просто как малое изменение формы и размеров гравюры, а как пластическое течение, которое затрагивает микрообъемы. Дело в том, что конструкция и материал штампа в целом подбираются из расчета, что пластическая деформация на контактной поверхности не должна иметь места. И если она все-таки наступает, то это результат неравномерности напряженного и деформированного состояний в отдельных микрообъемах. Флуктуации температуры и химического состава, повышенное разупрочнение и неблагоприятная ориентировка кристаллов по отношению к направлению максимальных напряжений ведут к тому, что часть микрообъемов пластически деформируется. Пластическая деформация отдельных микрообъемов создает рельефность контактной поверхности. Это, с одной стороны, приводит к появлению напряжений и может быть причиной развития микротрещин. С другой стороны, на поверхности недеформированных микрообъемов увеличиваются контактные удельные силы, что благоприятствует их вводу в микропластическую деформацию. Так локальная деформация постепенно охватывает всю контактную поверхность.

Пластическая деформация гравюры проявляется в виде смятия или осадки отдельных выступающих или наклонных элементов. Местное разрушение связано с несимметричным течением металла относительно выступа или с чрезмерно высокими удельными силами. На процесс смятия существенное влияние оказывает распределение удельных сил по полости штампа и их значение.

Схема износа молотового штампа (рис. 2. 11, а) показывает, что существенное изменение формы гравюры отмечается не только в области выходной кромки 6 и облойного мостика 7, где скорость течения максимальная, но и у вершины бобышки 1, где скорость течения минимальная. Результаты обмера гравюры изношенного штампа (незаштрихованная часть диаграммы на рис. 2. 11, б) свидетельствуют о том, что на отдельных участках размеры полости не увеличиваются, а, наоборот, уменьшаются (точки 3, 5). Следовательно, изменение формы гравюры происходит не только за счет истирания, но и смятия. Природа их различна, поэтому и области максимального истирания и смятия не всегда совпадают.

Истирание характерно для таких участков, как облойный мостик, выход на облойный мостик, внешние скругления гравюры и переход от торцевой поверхности к боковой у бобышек; количественно зависит от скорости течения и массы перемещающегося металла поковки и, конечно, от граничных условий трения. Как уже отмеча-

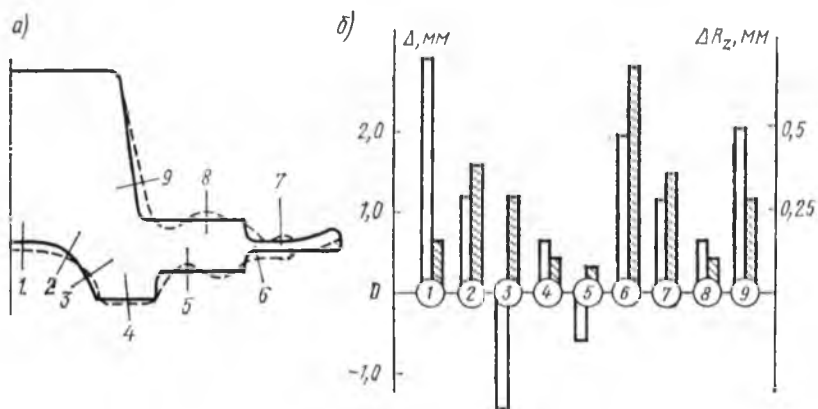


Рис. 2.11. Схема износа молотового штампа (а) и диаграмма (б) изменения его размеров Δ и микрогеометрии ΔR_z в точках 1—9 после изготовления 6000 поковок

лось, характер истирания: окислительный, интенсивный с элементами схватывания и глубинного разрушения или промежуточный между ними — оказывает решающее влияние на состояние микрогеометрии рабочей поверхности (см. рис. 2.11, б — заштрихованная часть диаграммы).

Сопоставление изменения размеров гравюры и микронеровностей ее поверхности показывает, что на участках наиболее интенсивного истирания, как правило, имеет место также и наибольшая шероховатость. Однако эта зависимость нарушается на участках гравюры, для которых характерно преимущественное изменение размеров за счет смятия. В рассматриваемом случае это характерно прежде всего для участка бобышки (точки 1 и 3). Смятию подвержены выступающие участки гравюры, бобышки, внешние скругления, облойный мостик, вертикальные стенки. Прочность штамповой стали и размеры элементов инструмента таковы, что, за исключением отдельных аварийных случаев, однократное воздействие рабочих сил не может привести к значительной деформации штампа. Однако при многократном повторении нагрузки небольшие пластические деформации отдельных элементов штампа накапливаются и вызывают искажение гравюры.

Радиусы скруглений 1—10 (рис. 2.12) наиболее интенсивно искажаются в начальный период работы (600—1200 поковок). Затем имеет место тенденция к стабилизации размеров. Учитывая кинетику изменения гравюры штампов, назначают минусовые допуски на определенные размеры, чем обеспечивают максимальный съем поковок. Стойкость штампов повышается на 30—40 %.

Смятие участка облойного мостика является не только причиной изменения самих размеров поковки, но, резко ухудшая условия обрезки облоя, приводит к искажению размеров поковки после этой операции и необходимости введения дополнительной правки. Кроме того, смятие облойного мостика изменяет высоту облойной щели, а следовательно, и условия штамповки в чистовом ручье.

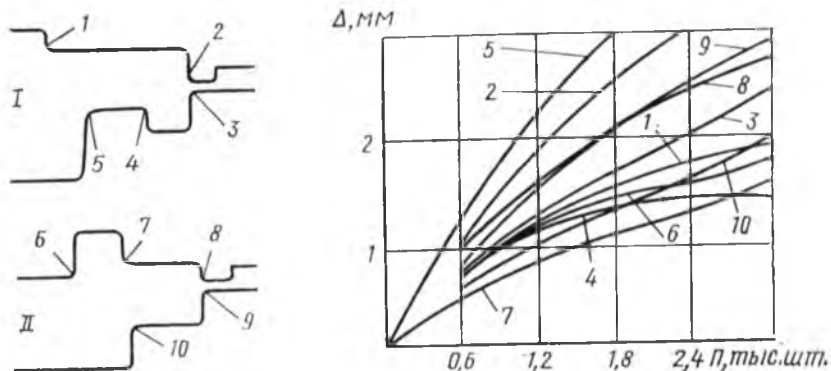


Рис. 2.12. Изменение Δ размеров внешних скруглений прессовых штампов I и II в зависимости от числа отштампованных поковок P

В результате возникает угроза либо незаполнения гравюры металлом при чрезмерно большой высоте щели, либо резкого повышения удельных сил в полости штампа из-за уменьшения ее высоты.

Истирание и смятие взаимодействуют в процессе изнашивания гравюры деформирующего инструмента. Кривые изменения размеров облойного мостика (рис. 2.13, а) молотового штампа представлены на рис. 2.13, в. На каждой кривой, например для точки III мостика, можно различить три специфических участка износа. Для начального (α) характерно ускоренное изменение формы преимущественно за счет остаточной деформации, которая сопровождается некоторым наклепом поверхностного слоя. Микрогеометрия поверхности (рис. 2.13, б) при этом изменяется мало.

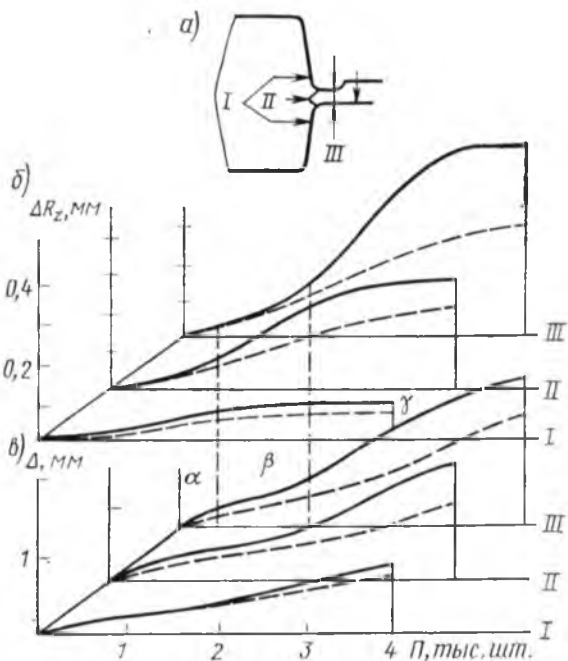


Рис. 2.13. Изменение микрогеометрии ΔR_z (б) и размеров Δ (в) молотового штампа (а) в точках I—III облойного мостика в зависимости от числа отштампованных поковок P :

--- — верхнего штампа; — — — — — нижнего штампа

Для следующего (β) участка кривой характерна линейная зависимость изменения размеров. Изнашивание происходит в основном за счет истирания рабочей поверхности. Умеренное, преимущественно окислительное, изнашивание, характерное для α -участка кривой, сменяется все более интенсивным с элементами адгезионного взаимодействия и пластической деформации при заметном снижении твердости поверхностного слоя и повышении его пластичности. Качество поверхности заметно ухудшается. К концу этого периода отмечается все большее взаимодействие истирания и пластической деформации поверхностного слоя вследствие длительно-го теплового воздействия со стороны деформируемого металла.

Для третьего участка (γ) характерно особенно интенсивное изнашивание. Все больше сказываются не только описанные выше процессы, но и накопленные в металле поверхностного слоя необратимые изменения, вызванные механической и термической усталостью. Начало этого участка, как правило, характеризуется появлением трещин термической усталости, развивающихся преимущественно в глубину или образующих сетку разгара в зависимости от температурно-силовых условий работы поверхностного слоя.

Значительное смятие в результате упругопластического изгиба в процессе штамповки наблюдается у штампов, штамподержателей и подштамповых плит мощных гидравлических прессов. Это связано с высокой удельной силой деформирования, малой прочностью крупногабаритных деталей штамповых наборов и существенным уменьшением предела текучести материала штампов за счет малоциклового усталости. Смятие (пластическая деформация) деформирующего инструмента мощных гидравлических прессов может достигать 3 мм.

Разгарообразование. Следующий вид износа деформирующего инструмента наряду с истиранием и смятием — разгарообразование. Циклическое температурно-силовое воздействие на рабочую поверхность штампов в процессе эксплуатации вызывает появление разгарных трещин, располагающихся в виде сетки на участках штамповочных ручьев или в виде поперечных трещин на их кромках, облойном мостике, в очке матриц выдавливания. Вид сетки разгарных трещин на рабочей поверхности ряда штампов горячего деформирования различен и зависит от типа штамповочного оборудования, условий эксплуатации, характера течения деформируемого металла, условий смазки и охлаждения штампов и др. У молотовых штампов сетка мелкая, с четким рисунком, несколько искаженным в направлении течения металла; у прессовых штампов сетка размыта и покрыта сплошной пленкой окалины и продуктов разложения смазывающего материала.

После появления разгарных трещин влияние термической усталости на износ деформирующего инструмента наиболее заметно. Трещины облегчают истирание и смятие поверхностного слоя, подготавливают выкрашивание крупных участков поверхности. В результате такого комбинированного воздействия резко увеличивается изменение гравюры, на поверхности образуются борозды значи-

тельного сечения. Затекаание металла в такие борозды приводит к залипанию поковок в полости штампа, что часто является непосредственной причиной выбраковки инструмента.

В зависимости от конкретно складывающихся условий имеются более или менее износочувствительные элементы гравюры (см. рис. 2.12 и 2.13). Конструкция штампа и даже такие, на первый взгляд, незначительные конструктивные элементы гравюры, как радиусы скруглений, часто оказывают решающее влияние на стойкость инструмента. Изменение радиусов скруглений в результате смятия и истирания достигает 3—5 мм, а в некоторых случаях даже больше, что может быть причиной выбраковки инструмента. В случае малых радиусов скруглений рано появляются трещины термической усталости, что приводит к залипанию поковок и последующему быстрому выходу штампов из строя. Установлено, например, что увеличение радиусов скруглений с 3 до 6 мм в некоторых случаях увеличивает стойкость штампов в 2—3 раза.

Способность материала штампа сопротивляться истиранию, смятию, разгарообразованию определяется его физико-механическими свойствами и особенно изменениями этих свойств в зависимости от температуры эксплуатации. Этим обстоятельством объясняется разница в износе, в конечном итоге — в стойкости верхнего и нижнего штампов при одинаковой их конфигурации. Это можно видеть из графиков (см. рис. 2.13), построенных по результатам изучения кинетики изменения формы большого числа штампов, симметричных относительно плоскости разреза.

Измерения, выполненные в процессе эксплуатации с помощью контактной термометрии, показали разницу в температуре верхнего и нижнего штампов, равную 50—125 °С в зависимости от размера и формы поковки и вида оборудования. Как правило, эта разница больше в случае штамповки на прессах и возрастает при увеличении массы поковок. Объясняется это тем, что нижний штамп более длительно контактирует с поковкой (дополнительное время контакта до начала деформации и после ее прекращения). Опыт показывает, что при штамповке поковок простой конфигурации иногда за время работы одного верхнего штампа выходит из строя 2—5 нижних штампов. Отмеченную закономерность необходимо учитывать при конструировании оснастки. Более глубокая полость, где это возможно, должна располагаться в верхнем штампе. Это позволяет уравнивать температурные условия работы и срок службы обеих гравюр и повысить стойкость комплекта. В случае штамповки на молотах стремятся разместить более глубокую полость в верхнем штампе также и по другой причине: при ударном воздействии сил металл лучше течет вверх.

Хрупкое разрушение. Истирание, смятие и разгар являются основными факторами, определяющими изменение и стойкость гравюры кузнечного штампа. Однако в ряде случаев штамп выходит из строя из-за образования глубоких трещин в области перехода от вертикальной стенки ко дну глубокой полости, а также у оснований бобышек и ребер. Такие трещины отмечаются довольно редко

у молотовых штампов и значительно чаще у прессовых. Эти трещины иногда называют термическими, чаще смешивают с разгарными, хотя они представляют собой особый вид разрушения. Причинами появления таких «термических» трещин являются напряжения, вызванные распорным действием деформируемой заготовки, внезапное резкое изменение температуры рабочей поверхности штампа (термошок или тепловой удар), необратимые деформации, связанные с циклическим изменением температуры, и малоцикловая механическая усталость. Влияние этих факторов, которые часто действуют совместно, но не совпадают во времени, наиболее сильно сказывается в местах концентрации напряжений, где обычно и появляются эти трещины.

Простейший расчет показывает, что при общепринятых размерах стенок облойных штампов напряжения, вызванные распорным действием металла заготовки, даже если принять неблагоприятные условия деформации, не превышают $(0,2—0,3) \sigma_b$ материала штампа при его рабочей температуре $200—300^\circ\text{C}$. Таким образом, распорное действие заготовки может способствовать появлению трещин, но не является основной их причиной.

Резкое охлаждение поверхности гравюры вследствие длительного перерыва в подаче смазывающего материала или после заклинивания поковки в гравюре приводит к возникновению значительного градиента температур, высоких термических напряжений растяжения в поверхностном слое и возможности термошокового разрушения. Напряжения достигают максимальных значений у внутренних углов гравюры, особенно в местах перехода стенок ко дну. Трещины могут образовываться даже в случае правильно сконструированных и эксплуатируемых штампов. В таких условиях причиной их появления может быть наличие необратимых деформаций поверхностных слоев гравюры. Эксперименты по изучению процесса изменения формы стальных изделий и, в частности, необратимых деформаций поверхностных слоев гравюры при высоком уровне термических напряжений показывают, что деформация после $300—400$ циклов теплосмен составляет $1—2\%$. Такое изнашивание поверхностных слоев стенок и дна гравюры вызывает растягивающие напряжения, которые увеличиваются с каждым циклом и могут достигнуть такого значения, при котором наступает разрушение металла.

Чем выше способность материала штампа изменять свои размеры при циклических нагревах и чем больше размеры поверхности (стенки, дно), тем быстрее происходит накопление напряжений. Этим объясняется большая склонность к появлению трещин у штампов, имеющих глубокую гравюру или изготовленных из сталей, склонных к короблению при нагреве и охлаждении. В ряде случаев возникновение трещин можно предотвратить лишь увеличением радиуса скругления опасного перехода.

Выход из строя штампового инструмента из-за образования глубоких трещин наиболее часто отмечается у прессовых штампов. Формующие пуансоны ГKM также в ряде случаев растрескиваются

(скалываются) и выходят из строя. Объясняется это запрессовкой окалины на поверхности разъема, что вызывает резкое увеличение нагрузок.

В практике кузнечно-штамповочного производства наблюдаются также случаи преждевременного выхода инструмента из строя после изготовления небольшого числа поковок (даже нескольких десятков штук). Причинами в этих случаях могут быть: неправильная термическая обработка, дефекты материала инструмента, неправильная эксплуатация, ошибки в конструировании или изготовлении штампов. Процент выбраковки инструмента по этим причинам находится в прямой зависимости от общей культуры технологического процесса штамповки и инструментального дела на предприятии. Он зависит, в частности, от постановки учета стойкости оснастки, норм ее расходования. Чем более высок уровень учета, тем в большей мере выявляются все внешние причины преждевременного выхода инструмента из строя. Например, дефекты термической обработки — отступление от заданной твердости и значительное обезуглероживание рабочей поверхности — легко устранить изготовителями оснастки за счет повышения технологической культуры производства.

Дефекты исходного материала обнаруживаются лишь в условиях надлежащим образом поставленного контроля штамповых заготовок, готовых штампов, учета и анализа их стойкости. Так, например, на одном из заводов при изготовлении поковок деталей карданных валов был отмечен чрезвычайно большой разброс в стойкости штампов, имеющих сложную по конфигурации и глубокую полость, и, следовательно, неравномерно нагруженных. Исследования показали решающую роль направления волокон прокатанной заготовки штампа и степени укова при последующей деформации. Применение регламентированной степени укова кубиков, получаемых из слябов, позволило полностью избежать преждевременной поломки штампов. Для такого рода оснастки могут быть использованы и прокатанные заготовки без дополнительной проковки, но при условии благоприятной ориентировки волокна относительно направления максимально расклинивающих сил.

Выход инструмента из строя по вине материала исходной заготовки может быть также уменьшен за счет повышения качества стали: применения электрошлакового переплава, вакуумирования, а также за счет контроля качества стали, например ультразвуковой дефектоскопии штамповых кубиков.

Из эксплуатационных причин преждевременного выхода штампов из строя следует прежде всего отметить некачественный подогрев их перед началом работы. В результате этого штампы начинают работать недостаточно прогретыми или с участками поверхности гравюры, перегретыми сверх допустимой нормы. В обоих случаях исход один — низкая стойкость либо из-за растрескивания, либо из-за чрезмерного смятия и истирания. Что же касается ошибок в конструировании и изготовлении штампов, то роль их значительна лишь в условиях освоения новой продукции и сводится к ми-

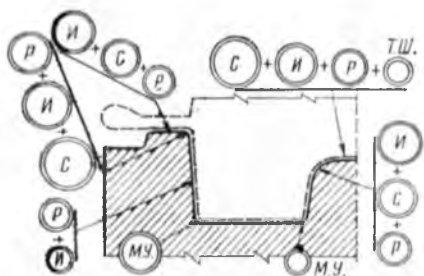


Рис. 2.14. Взаимодействие видов износа гравюры штампа:

И — истирание; С — смятие; Р — разгар; М.У. — разрушение под действием механической усталости; Т.Ш. — термостокое разрушение

нимому при установившемся процессе производства.

Производственные эксперименты и наблюдения показывают, что для каждого штампа, даже для каждого определенного участка гравюры, выделяется в качестве основного один из перечисленных видов износа (рис. 2.14). Тот же из них, который является непосредственной причиной выхода инструмента из строя, может быть назван **преобладающим** (под преобладающим видом износа здесь понимают изменение

формы и размеров гравюры, которое приводит к недопустимому отклонению размеров поковки от заданных).

Преобладающий вид износа зависит от типа оборудования, его мощности и многих других факторов и изменяется даже при изготовлении поковок на одних и тех же машинах. Знание преобладающих видов износа позволяет задержать развитие наиболее интенсивных процессов изменения формы и за счет этого существенно повысить стойкость штампов.

Е. И. Бельский на основе анализа причин разрушения большого числа штампов, работающих на различном кузнечно-штамповочном оборудовании, построил диаграммы, показывающие изменение преобладающих видов износа штампов и влияние мощности оборудования и размеров (массы) поковок на этот параметр. Анализ такой диаграммы применительно к молотовым штампам (рис. 2.15) позволяет сделать ряд важных для практики кузнечно-штамповочного производства выводов: смятие и истирание представляют собой наиболее характерные виды повреждения гравюр молотовых штампов;

износ за счет интенсивного истирания характерен для штампов на молотах с малой массой падающих частей;

смятие отдельных элементов гравюры характерно для штампов с большой массой падающих частей;

разгарообразование не свойственно для молотовых штампов; существенно возрастает лишь у штампов на молотах с большой массой падающих частей.

Результаты обследования штампов КГШП (рис. 2. 16) также позволяют сделать ряд важных выводов:

роль смятия как основной причины выхода из строя прессовых штампов резко уменьшается по сравнению с молотовыми; существенное значение смятие имеет лишь при штамповке на мощных прессах;

несколько возрастает роль разгарообразования, хотя выход из строя штампов по этой причине лишь незначительно превышает 25 % в случае штамповки на прессах усилием 25 и 40 тыс. кН;

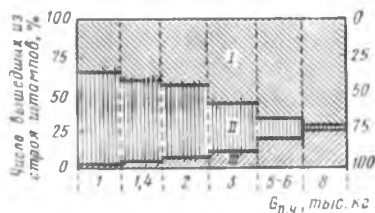


Рис. 2.15. Преобладающие виды износа штампов на молотах с различной массой падающих частей G_n , кг:

I — смятие; II — истирание; III — разгар

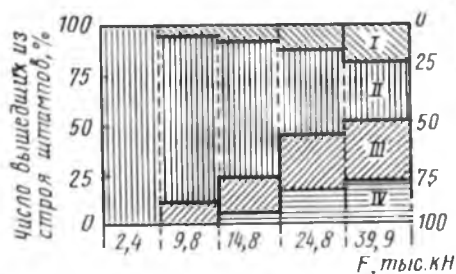


Рис. 2.16. Преобладающие виды износа штампов на прессах с различной деформирующей силой F :

I — смятие; II — истирание; III — разгар; IV — трещины

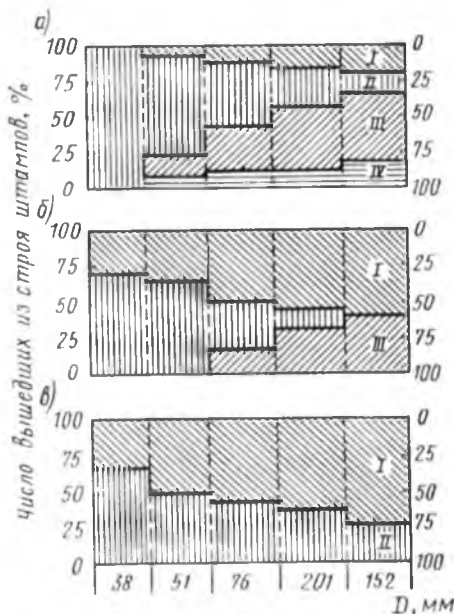


Рис. 2.17. Преобладающие виды износа формовочных пуансонов (а), прошивных пуансонов (б) и пережимных вставок (в) ГKM с различным диаметром деформируемой заготовки D :

I — смятие; II — истирание; III — разгар; IV — скалывание торцевой поверхности

резко увеличивается роль истирания; в случае использования прессов с малой деформирующей силой эта причина выбраковки инструмента является практически единственной;

при больших деформирующих силах учащаются случаи выхода из строя из-за трещин у переходов от стенки к донной части.

Диаграммы преобладающих видов износа инструмента ГKM (рис. 2. 17, а—в) построены отдельно для формовочных и прошивных пуансонов и пережимных вставок матриц, так как условия их эксплуатации и причины выхода из строя различны. Поведение гравюр формовочных пуансонов, как и наборных, весьма близко к поведению гравюр штампов КГШП. Это объясняется сходными условиями эксплуатации. К отличительным особенностям следует отнести некоторое перераспределение в удельном весе истирания и разгара в пользу разгара, а также появление специфической причины выхода инструмента из строя — скалывание торцевых поверхностей пуансонов. Для прошивного инструмента смятие имеет существенно большее значение. Оно характерно в первую очередь

для прошивней с большим отношением длины к поперечному сечению. В случае пережимных вставок матриц разгар, как преобладающий вид износа, практически отсутствует. Это, очевидно, можно объяснить низкой температурой этих вставок в связи с теплоотдачей массивных матриц и интенсивным внешним охлаждением.

Аналогичные диаграммы можно построить и для штампов, работающих на других видах кузнечно-штамповочного оборудования и выполняющих различные технологические операции. Так, штампы ковочных вальцов, оснастка накатных станов и раскаточных машин выходят из строя в результате истирания; однако в ряде случаев при использовании воды для охлаждения формообразующих деталей штампов (вальцовочных секторов и бандажей, накатных роликов, валков, зубчатых вкладышей) на их поверхности наблюдается повышенное разгарообразование. У штампов поперечно-килевых вальцов истирается входная часть ручья. Выход из строя штампов радиально-ковочных машин связан преимущественно со смятием кромки, образованной цилиндрической и конической рабочими поверхностями бойков, а также боковых кромок. На рабочей поверхности бойков и оправок образуются разгарные трещины.

Штампы высокоскоростных молотов подвержены в основном смятию поверхностного слоя; помимо этого у них истирается гравюра. Смятие более характерно для штамповки осадкой, а истирание — для штамповки выдавливанием. Разгарные трещины на рабочей поверхности штампов высокоскоростных молотов появляются очень редко. По-видимому, это связано с малой продолжительностью контакта рабочего инструмента с заготовкой. Кроме того, высокая скорость нагружения штампов высокоскоростных молотов приводит к их разрушению при появлении даже небольших трещин. Проблема предотвращения поломок штампов при высокоскоростной штамповке, особенно при использовании машин с высокой энергией (например, пороховым зарядом), в настоящее время является весьма острой.

Причины выхода из строя штампов обрезных прессов различны. У обрезных матриц это в основном истирание, реже — смятие режущих кромок. У обрезных и пробивных пуансонов обычно отмечается истирание (тепловой и абразивный износ). Для правочных вставок характерно смятие поверхностного слоя гравюры; кроме того, на их рабочей поверхности отмечается окислительный износ. Особенно значительна деформация правочных штампов и вставок на паровоздушных молотах. В результате «жесткого» удара зачастую отмечается не только деформация, но и поломка этих штампов. Поломки штампов обрезных прессов, особенно при применении буферных устройств, практически исключены.

Основными причинами выхода из строя формообразующего инструмента при штамповке и высадке на прессах-автоматах являются образование разгарных трещин (осадочные и формовочные пуансоны и матрицы) и истирание (отрезной и прошивной инструмент). При недостаточном охлаждении возможна деформация гра-

вюры матриц и рабочих торцов пуансонов горячештамповочных автоматов.

Штампы гидравлических прессов в меньшей мере, чем штампы другого штамповочного оборудования, подвержены поломкам; разгарные трещины появляются лишь при применении интенсивного водяного охлаждения. Ячейки разгарной сетки, как правило, более крупные, чем у молотовых штампов, а сами трещины более глубокие и широкие. Штампы для объемной штамповки на гидравлических прессах подвержены пластической деформации, а инструмент для выдавливания прутков, профилей и труб — истиранию. Крупные штампы мощных гидравлических прессов для штамповки поковок из легких сплавов выходят из строя в результате истирания и смятия; закрытые штампы для штамповки колес — из-за смятия и образования разгарных трещин.

Основными причинами выхода из строя штампов при изотермической штамповке являются смятие элементов гравюры и деформация штамповой вставки; поломки и образование разгарных трещин полностью исключены. Действительно, при изотермической штамповке нагружение штампов происходит с небольшой скоростью, а колебания температуры гравюры не превышают 20—50 °С. При жидкой штамповке основной вид износа — разгарные трещины, образованию которых способствуют термические удары. Появившиеся на поверхности гравюры штампа трещины интенсивно разбедаются жидким металлом. Поэтому важнейшее свойство стали для этих штампов — сопротивление образованию разгарных трещин.

Тяжелонагруженный инструмент для холодного деформирования выходит из строя в основном в результате хрупкого разрушения. В ряде случаев поломки связаны со случайными перегрузками, которые возможны даже при небольших отступлениях от технологии и особенно опасны для инструментов с конструктивно неизбежными концентраторами напряжений.

Иногда хрупкому разрушению предшествует длительный период эксплуатации. Это показывает, что хрупкое разрушение инструментов обусловлено в основном не недостаточными исходными прочностью и пластичностью штамповых сталей, а определенными изменениями их структуры в процессе деформирования. Хрупкому разрушению может способствовать изменение геометрии деформирующего инструмента из-за смятия и износа. Возможно и усталостно-хрупкое разрушение.

Таким образом, стойкость штампового инструмента определяется изменениями свойств материала поверхностного слоя гравюры. Характер и интенсивность этих изменений зависят от преобладающего вида износа. Выявление преобладающего вида износа в каждом конкретном случае позволяет вскрыть непосредственную причину преждевременного выхода из строя инструмента и указывает пути повышения его стойкости. Знание соотношений преобладающих видов износа той или иной группы определяет также требования, предъявляемые к штамповым материалам, и наиболее важные

показатели их свойств. Поэтому задача повышения стойкости того или иного деформирующего инструмента должна решаться в такой последовательности: определение преобладающего вида износа; выделение наиболее износочувствительных участков гравюры, из-за потери размеров которых штамп выходит из строя; определение основных причин повышенного износа (материал штампа, температурные условия работы, конструкция и т. д.); назначение мер повышения стойкости.

8. СТОЙКОСТЬ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА РАЗЛИЧНОМ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Стойкость штампа выражается числом деталей заданной точности формы и размеров, отштампованных до полного невосстанавливаемого разрушения (износа) его рабочих частей. Однако в период до полного разрушения штампа возникает брак по снижению качества штампующих деталей (заусенцы при вырубке и пробивке, задирки, риски и царапины при вытяжке и гибке). Этот вид брака устраняется перешлифовкой вырубных и пробивных штампов или зачисткой наростов металла на поверхности вытяжных и гибочных штампов и т. п. Таким образом, следует различать *полную* стойкость штампов и *промежуточную* стойкость, т. е. стойкость между двумя перешлифовками или зачистками рабочих частей. Полная стойкость штампов в большинстве случаев находится в прямой зависимости от промежуточной стойкости. Число допустимых перешлифовок и зачисток ограничено полным использованием рабочих деталей штампов, образованием трещин и получением размерного брака деталей.

Как уже указывалось, стойкость штампов зависит от совместного действия большого числа факторов. Случайный характер их изменения обуславливает многообразие причин выхода штампов из строя и значительные колебания стойкости. Изучение эмпирических рядов распределения стойкости штампов показывает, что долговечность штампа следует рассматривать как статистическую величину, представляющую собой результат действия множества факторов, влияние каждого из которых на много перекрывается суммарным влиянием всех остальных.

В табл. 2. 1—2. 4 приведены данные о стойкости штампов для холодного и горячего деформирования металлов и сплавов на различном оборудовании.

Анализ данных, приведенных в таблицах, а также материалы заводской практики показывают, что в ряде случаев стойкость тяжело нагруженных инструментов весьма близка к пределу, ниже которого получение деталей обработкой давлением становится малорентабельным. Так, стойкость прошивных и формующих пуансонов, выталкивателей при горячей объемной штамповке на прессах составляет 5—20 тыс. шт., матриц для горячего прессования деталей типа клапанов — 2,5—10 тыс. шт., штамповых вставок для изготовления изделий типа турбинных лопаток из жаропрочных ма-

Таблица 2.1. Стойкость молотовых штампов при изготовлении поковок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей

Поковки	Размеры поковки, мм					Стой- кость, тыс. шт.
	диаметр	высота	длина	ширина утолще- ния	толщина полотна	
Круглые в плане (крыш- ки, колеса, фланцы)	100	30	—	—	—	11
	100	60	—	—	—	10
	100	100	—	—	—	9
	200	100	—	—	—	6
	200	200	—	—	—	4
	400	100	—	—	—	3
	400	200	—	—	—	2,5
	400	300	—	—	—	2,3
С головками и двутавро- вым сечением стержня (ша- туны)	—	10	—	50	—	6,5
	—	50	—	50	—	4,5
	—	40	—	100	—	2,8
	—	100	—	100	—	1,5
С вытянутой осью и фа- сонной головкой (вилки)	—	10	40	40	—	11
	—	50	100	100	—	6
	—	80	220	160	—	3,5
	—	—	—	—	—	—
С головками и стержня- ми различного профиля (рычаги, ключи)	50	20	—	—	10	9
	50	20	—	—	20	10
	100	20	—	—	20	8,5
	100	60	—	—	20	5,5
С вытянутой осью и вы- ступами (рычаги)	—	—	40	—	10	16
	—	—	100	—	10	11
	—	—	100	—	40	9,5
	—	—	160	—	40	7
	—	—	180	—	60	6
	—	—	—	—	—	—

Таблица 2.2. Стойкость сменного инструмента для полугорячего выдавливания на КГШП

Характер деформирования и материал поковки	Инструмент	Материал инструмента	Стой- кость, тыс. шт.
Прямое и комбинированное вы- давливание поковок из конструк- ционных сталей	Пуансон	P18	2—5
	Матрица	P18, 3X2B8Ф BK15	3—6 15—20
Обратное выдавливание вту- лок из углеродистых сталей То же, из сталей 20X13, 40X13	Выталкива- тель	9XC	5—10
	Пуансон,	5XHT	До 3
	матрица	3X2B8Ф	До 5
	Пуансон	3X2B8Ф	10—15
Обратное выдавливание колец подшипников из стали ШХ15	Матрица	4X8B2	10—12
	Пуансон,	—	—
Обратное двустороннее выдав- ливание роликов и втулок из ста- лей 40X, 40X1H	Матрица	P18, 4X4BMФC	2—3
	Пуансон	и 5X3B3MФC с азотированием	—
Обратное двустороннее выдав- ливание сменных головок торцо- вых гасящих ключей из стали 40X	Пуансон	P12, P6M5	1—2
		P18	0,9—2
	Матрица	Наплавка элек- тродами ОЗИ-4	3—6
		P18	3—4
		Наплавка элек- тродами ОЗИ-4	До 9—12

Т а б л и ц а 2.3. Стойкость штампов для холодной штамповки

Технологическая операция	Материал заготовки	Стойкость, тыс. шт.	Основные причины выхода из строя
Вырубка и пробивка отверстий	Конструкционные стали	50—250	Истирание, усталостное разрушение
Прецизионная вырубка		10—100	Выкрашивание и истирание, хрупкое разрушение
Гибка, вытяжка и формовка деталей: небольших размеров простой формы;	Низкоуглеродистые и низколегированные стали	200—500	Истирание
повышенной точности небольших размеров;		100—250	Истирание, схватывание
крупных сложной формы		50—200	Истирание и выкрашивание, схватывание
Калибровка и чеканка деталей: простой формы		100—350	Истирание
сложной формы		50—100	Истирание и смятие.
Высадка (ударные условия нагружения)	Высокопрочные стали	50—200	Хрупкое разрушение
	Цветные сплавы, низко- и среднеуглеродистые стали	50—200	Хрупкое разрушение, истирание

Т а б л и ц а 2.4. Стойкость оснастки автоматов для горячей высадки гаек М22—М27

Инструмент	Материал инструмента	Стойкость, тыс. шт.
Нож отрезной	4XB2C*	80—200
Матрица отрезная	4XB2C*	70—160
Пуансон осадочный	3X3M3Ф	130—330
Матрица осадочная	3X3M3Ф	100—250
Выталкиватель матрицы осадочной	3X3M3Ф	50—130
Пуансон формующий	3X3M2Ф	10—20
Матрица формующая	3X3M3Ф	55—140
Пуансонодержатель	3X3M3Ф	10—25
Пуансон опорный	3X3M3Ф	10—30
Пуансон выталкивающий	3X3M3Ф	25—60
Матрица прошивная	3X3M3Ф	10—20
Пуансон прошивной	3X3M3Ф *	10—25

* С наплавкой рабочей поверхности твердым сплавом.

териалов — 0,8—2 тыс. шт. Еще более низкой стойкостью обладает инструмент при деформировании на высокоскоростных молотах и прессах.

Анализ стойкости оснастки для изготовления разных по форме и размерам поковок на различных машинах показывает тесную

связь условий эксплуатации со стойкостью штампов. В связи с этим штампы можно разделить на три группы:

долговечные, характеризующиеся благоприятным соотношением свойств штампового материала и параметров температурно-силовых воздействий; преобладает нормальный вид износа инструмента для горячей обработки давлением — истирание; на более поздней стадии эксплуатации — незначительное разгарообразование;

быстроизнашивающиеся, для которых характерно крайне неблагоприятное соотношение свойств материала и параметров температурно-силовых воздействий. При этом наблюдается развитие таких интенсивных процессов изменения формы гравюры, как смятие, сопровождающееся ранним разгарообразованием или появлением крупных термошоковых трещин;

промежуточной стойкости, состояние которых к моменту выхода из строя определяется значительными разгарообразованием и истиранием, которым сопутствует на отдельных участках смятие.

Производственный опыт и специально проведенные исследования показывают, что даже при работе на одной и той же машине в условиях отдельно взятого цеха стойкость колеблется в очень широких пределах. Поэтому для разработки единых достаточно обоснованных норм необходимо знать влияние отдельных факторов и в первую очередь оборудования, массы и формы поковок. В связи с этим описанные в литературе методы расчета применимы лишь при строго оговоренных условиях эксплуатации на одном каком-либо виде оборудования. Как правило, зависимости являются однофакторными, например выражение для расчета стойкости молотовых штампов C (шт.) в зависимости от массы поковок g (кг) имеет вид

$$C = A/g^m,$$

где A и m — постоянные, зависящие от конфигурации поковок.

Резервы повышения стойкости оснастки и экономии в кузнечно-штамповочном производстве таятся в рациональном конструировании как штампов, так и поковок. Так, например, только увеличение высоты облойной щели в допустимых пределах или ее формы, а также радиусов скругления выходной кромки позволяет повысить стойкость штампов на 50—100 % и даже более. Поскольку указанное изменение конфигурации облоя приводит к увеличению расхода металла на поковку, целесообразность подобных конструктивных мероприятий должна определяться экономическим расчетом; иными словами, экономия за счет повышения стойкости штампов должна перекрывать потери за счет увеличения расхода металла. Это правило, к сожалению, далеко не всегда учитывается конструкторами.

Зачастую несущественное, с точки зрения работоспособности, изменение конструкции поковки в несколько раз повышает стойкость штампа, что в свою очередь сказывается на себестоимости продукции. Если в конструкции детали (поковки) имеются тонкие полотна, ребра, бобышки, стойкость штампа резко снижается. Рас-

положение элементов поковки относительно плоскости разреза штампа предопределяет и преобладающий вид износа, и стойкость. Так, если тонкие элементы сечения поковки образуются между бобышками, интенсивный износ бобышек определяется перегревом материала поверхностного слоя гравюры, его смятием и разгаром. Если тонкие элементы образуются за счет затекания металла поковки в узкую щель, причина интенсивного износа кроется в местном переохлаждении материала поковки и, как следствие, в повышенном смятии и истирании напряженного участка гравюры.

Были проведены исследования зависимости стойкости молотовых штампов, предназначенных для штамповки круглых в плане поковок, от основных факторов, влияющих на износ. При этом изучено состояние гравюры и стойкость 1460 штампов, предназначенных для штамповки 360 наименований поковок из углеродистых и низколегированных сталей. Для статистического анализа применили методы множественной линейной регрессии и корреляции. Алгоритм расчета технологических параметров представлен в виде уравнения регрессии:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k,$$

где y — искомая величина или функция от нее; $x_1, x_2, \dots, x_k$ — либо равны значениям параметров $z_1, z_2, \dots, z_k$, оказывающих влияние на искомую величину, либо являются аналитическими функциями $x_j = x_j(z_j)$ от этих параметров.

Неизвестные коэффициенты $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ в уравнении регрессии оценивают методом наименьших квадратов по данным имеющейся серии наблюдений величины y_i ($i = 1, 2, \dots, n$, где n — число наблюдений) и соответствующих ей значений $z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{ki}$.

Наиболее важной частью исследования является определение значимости влияния того или иного фактора и исключение из уравнения регрессии тех из них, влияние которых на искомую величину несущественно. Эта задача решается путем расчета коэффициентов частной корреляции r_{oj} и проверки реальности связи по условию достоверности.

В процессе исследования в уравнение регрессии включались лишь те факторы технологического процесса, связь которых с величиной стойкости являлась достоверной, т. е. выполнялось условие $r_{oj}/\delta_{oj} > t_{qn}$, где r_{oj} — частные коэффициенты корреляции; δ_{oj} — средние квадратические погрешности частных коэффициентов корреляции; t_{qn} — предел достоверности, зависящий от количества статистических данных n и заданного уровня вероятности q .

Окончательное уравнение для расчета основной стойкости молотовых штампов получено в виде

$$\begin{aligned} \lg C_0 = & 4,155 - 0,560 \lg g - 0,388 \lg S_{\pi} - 0,0682 l_1/h + \\ & + 1,464 h/H_{\pi} + 0,0169 (h/H_{\pi}) \lg g + 0,0473 (l_1/h) \lg S_{\pi} - \\ & - 0,143 \lg g \cdot \lg S_{\pi}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где g — масса поковки, в исследовании ее значение изменялось от

0,125 до 175,5 кг; S_n — критерий сложности (2.1) формы поковки (0,7—9,6); l_1/h — отношение ширины облойного мостика к его полной высоте (1,25—7,5); h/H_n — отношение высоты облойного мостика к высоте поковки (0,017—0,2). Величина C_0 в исследовании изменялась от 200 до 13 800 шт.

Таблица 2.5. Частные коэффициенты корреляции

x_f	$\lg C_0$	$\lg g$	$\lg S_n$	l_1/h	h/H_n
$\lg C_0$	—	29,9	5,07	2,29	5,93
$\lg g$	—0,796	—	4,49	9,66	1,80
$\lg S_n$	—0,330	—0,298	—	3,33	0,42
l_1/h	—0,162	0,516	—0,230	—	4,68
h/H_n	0,372	0,129	—0,031	—0,308	—

В табл. 2. 5 приведены частные коэффициенты корреляции между членами полученного уравнения (ниже диагонали) и отношения этих частных коэффициентов корреляции к их среднеквадратическому отклонению (выше диагонали). Поскольку для статистической выборки $n = 1460$ и при 95 % вероятности предел достоверности $t_{95} = 1,96$, то, по данным табл. 2.6, достоверными являются все зависимости между $\lg C_0$ и $\lg g$, $\lg S_n$ и h/H_n . Коэффициент детерминации, равный 0,765, показывает, что использованные в формуле (2. 2) факторы учитывают более 76 % изменения величины C_0 . Таким образом, приведенное выше уравнение достаточно полно учитывает факторы, влияющие на стойкость штампов. Для расчета стойкости при штамповке поковок из других марок стали используют поправочный коэффициент.

К сожалению, рассмотренный метод предназначен лишь для расчета стойкости штампов для круглых в плане поковок и не учитывает состав и свойства штамповой стали; это может значительно отразиться на результатах расчета.

Глава 3

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Стали, применяемые для изготовления деформирующего инструмента, должны обладать комплексом эксплуатационных и технологических свойств; помимо этого к ним предъявляют требования экономического характера. Деформирующий инструмент в процессе эксплуатации находится в сложнапряженном состоянии, вызванном высокими контактными давлениями; многократными переменными нагрузками; повышенной стационарной и циклически изменяющейся температурой и др.

К *эксплуатационным* относят свойства материала готового инструмента после окончательной обработки — эти свойства должны обеспечивать необходимую работоспособность штампов в заданных условиях эксплуатации.

Стали, предназначенные для штампов горячего деформирования, должны обладать следующими эксплуатационными свойствами: необходимой твердостью, высокой теплостойкостью, высоким сопротивлением пластической деформации, высокой износостойкостью, высокой разгаростойкостью, высоким сопротивлением хрупкому разрушению.

Иногда к эксплуатационным свойствам условно относят также такие показатели, как сопротивление малым пластическим деформациям, сопротивление усталости (предел выносливости), сопротивление смятию, теплопроводность, коэффициент термического расширения, окалиностойкость, устойчивость против адгезии, величину зерна, температуры критических точек и др. Некоторые показатели косвенно влияют на эксплуатационные свойства штамповых сталей. Так, например, твердость и сопротивление смятию характеризуют прочность и сопротивление пластической деформации штамповых сталей; пластичность — сопротивление хрупкому разрушению; окалиностойкость и устойчивость против адгезии — сопротивление окислительному износу и износу схватыванием и т. д. В то же время величина зерна, температуры критических точек, коэффициент термического расширения основное влияние оказывают при обработке инструмента, а не при его эксплуатации, поэтому их следует отнести к технологическим свойствам.

Эксплуатационные свойства сталей для штампов, предназначенных для выполнения различных технологических процессов горячего деформирования, из-за разнообразия температурно-силовых условий эксплуатации штампов не могут быть общими. Более того, дифференцированный выбор марки стали и режима ее термической обработки (а следовательно, и соответствующего комплекса эксплуатационных свойств) необходим даже для различных частей и деталей одного штампа: пуансона, матрицы, рабочих вставок, знаков, выталкивателей и т. д. Это показывает необходимость специализации штамповых сталей для различных технологических процессов.

Стали для штампов холодного деформирования в первую очередь должны обладать высоким сопротивлением хрупкому разрушению; в то же время они должны хорошо сопротивляться смятию и износу. Высокие температуры, развивающиеся на рабочей поверхности деформирующего инструмента в процессе холодной штамповки, показывают необходимость высокой теплостойкости штампового материала.

Таким образом, стали для штампов холодного деформирования должны обладать: повышенной износостойкостью; минимально необходимыми (для данного конкретного случая) твердостью, сопротивлением малым пластическим деформациям и теплостойкостью; удовлетворительными прочностью и пластичностью. В зависимости

от видов операций, свойств подвергаемых деформированию материалов, основных параметров оборудования роль каждого из этих показателей может меняться.

Срок службы штамповой оснастки можно существенно повысить за счет придания материалу штампов соответствующих эксплуатационных свойств. Так, для уменьшения интенсивности изнашивания штампов сталь, применяемая для изготовления штамповой оснастки, должна обладать высокими износостойкостью и теплостойкостью, для уменьшения пластической деформации (смятия) — высокими прочностью и теплостойкостью, для предотвращения поломок или образования хрупких трещин — высокими сопротивлением хрупкому разрушению и прочностью, наконец, для уменьшения числа и размеров разгарных трещин — высокой разгаростойкостью.

К технологическим относят свойства штампового материала, обеспечивающие возможность обработки деформирующего инструмента с заданными эксплуатационными свойствами при минимальных затратах. Стали, идущие для изготовления деформирующего инструмента, должны обладать следующими технологическими свойствами: закаливаемостью; прокаливаемостью; способностью обеспечивать минимальную деформацию инструмента при термической обработке; устойчивостью против перегрева, окисления и обезуглероживания при термической обработке; устойчивостью против образования трещин при закалке и шлифовании; ковкостью; хорошей обрабатываемостью.

При использовании литых штампов, применении наплавки, химико-термической обработки, выдавливания и других специфических технологических процессов круг требований, предъявляемых к штамповым материалам, расширяется. Так, например, стали для литых штампов должны иметь хорошую жидкотекучесть и малую склонность к трещинообразованию в отливках; малую склонность к трещинообразованию должны иметь и стали для штампов с наплавленными рабочими участками гравюры. С целью получения упрочненного азотированного слоя высокой износостойкости и достаточной глубины в некоторые штамповые стали вводят алюминий; в сталях, предназначенных для получения инструмента холодным выдавливанием, в целях уменьшения сопротивления деформированию содержание углерода снижают до 0,06—0,2 %. После выдавливания гравюры такой инструмент перед закалкой цементуют; этим и обеспечивают высокую прочность и износостойкость рабочего слоя. Важным технологическим свойством сталей, предназначенных для изготовления крупногабаритных поковок штампового инструмента (контейнеров и втулок, молотовых кубиков), является высокая флокеностойчивость.

В ряде случаев при назначении штамповой стали некоторые технологические свойства выступают как второстепенные. Так, например, могут быть снижены требования к обрабатываемости стали резанием в том случае, если простые гравюры штампов можно изготовить с помощью твердосплавного или алмазного металлорежу-

щего инструмента, а сложные гравюры — путем электроэрозионной обработки. При оснащении термических участков соответствующим оборудованием можно свести до минимума окисление и обезуглероживание штампов. За счет применения специальных технологических мер (нарезания гравюры в штампе после окончательной термической обработки, использования ступенчатой или изотермической закалки и т. п.) можно значительно уменьшить коробление штампового инструмента.

Особенно важно учитывать технологические свойства штамповых материалов при повышенных требованиях к качеству изготовления штампов; последнее характерно для технологических процессов точной горячей штамповки: закрытой штамповки и выдавливания, автоматической и высокоскоростной штамповки. Кроме того, при изготовлении крупногабаритного штампового инструмента мощных молотов и прессов особое внимание уделяют таким технологическим свойствам, как прокаливаемость, ковкость, обрабатываемость резанием и т. п.

К *экономическим* требованиям, предъявляемым к штамповым сталям, относят достаточно низкую стоимость стали и ее не дефицитность. Экономическая эффективность применения различных марок штамповой стали во многом зависит от стойкости и конструкции инструмента, а также от объема выпуска поковок; в связи с этим стоимость штамповой стали может играть и второстепенную роль.

Остановимся на характеристике основных свойств, определяющих работоспособность штамповых материалов.

Твердость характеризует напряженное состояние, близкое к неравномерному сжатию, и определяет сопротивление инструментальной стали контактным напряжениям, возникающим на рабочей поверхности инструмента. Твердость широко используют в качестве показателя при разработке режимов термической обработки штамповых сталей. Инструменты с недостаточной твердостью не могут деформировать; под действием возникающих напряжений они слишком быстро теряют форму и размеры, поскольку с уменьшением твердости резко снижается сопротивление смятию.

Обычно твердость стали определяется содержанием углерода в мартенсите и возрастает с увеличением концентрации углерода до 0,6 %. Однако при наличии в структуре остаточного аустенита (более 20 % для углеродистых и низколегированных и более 30 % для комплексно-легированных сталей) эта зависимость существенно нарушается. Значительные изменения в эту зависимость вносят выделяющиеся при отпуске дисперсные фазы (карбиды, интерметаллиды и др.). В то же время твердость мало зависит от таких структурных параметров, как величина зерна и распределение карбидов.

Существует много методов измерения твердости (Бринелля, Роквелла, Шора, Виккерса и др.); однако твердость штамповых сталей в основном определяют методами Роквелла (HRC) и Бринелля (HB).

Между твердостью и пределом текучести при сжатии существу-

ет линейная зависимость; поэтому небольшое снижение твердости, даже в области ее высоких значений, сопровождается развитием пластической деформации при меньших напряжениях. Линейная зависимость наблюдается также между твердостью HB и пределом прочности при растяжении σ_b . При этом зависимость типа $\sigma_b = 0,34 \text{ HB}$ справедлива лишь для штамповых сталей с ферритно-карбидной структурой и твердостью, не превышающей HRC 45—48 (HB 430—460). Для сталей с большей твердостью (HRC 48—52) эта зависимость имеет вид: $\sigma_b = 0,38 \text{ HB}$. При этом указанное соотношение сохраняется для сталей, существенно отличающихся друг от друга по химическому составу, а также при повышенных температурах испытания. Для сталей с мартенситной структурой и твердостью более HRC 52 линейная зависимость между пределом прочности и твердостью существенно нарушается. Так, увеличение твердости, достигаемое повышением температуры закалки, если это вызывает заметный рост зерна, сопровождается уменьшением предела прочности.

Неодинаково изменяются твердость и предел прочности и при повышении температуры отпуска. Отпуск при пониженных температурах (150—180 °C) приводит к значительному увеличению предела прочности за счет уменьшения остаточных напряжений; в то же время твердость при низком отпуске за счет уменьшения содержания углерода в мартенсите существенно уменьшается. Отпуск при более высоких температурах (300—500 °C) приводит к уменьшению и твердости, и предела прочности штамповой стали.

Для большинства сталей зависимость между пределом прочности и твердостью выражается кривой с максимумом, расположенным ближе к верхним значениям твердости (рис. 3. 1). Наибольшую твердость стали приобретают после закалки с повышенных температур, при которых происходит более полное насыщение аустенита углеродом, но отмечается рост зерна, или после отпуска, вызывающего дисперсионное твердение. Оба эти процесса приводят к снижению предела прочности.

Твердость и ударная вязкость также взаимосвязаны. Обычно при увеличении твердости ударная вязкость уменьшается. Так, высокой твердости, получаемой в результате закалки, соответствует резкое снижение ударной вязкости. Небольшому снижению твердости при низких температурах отпуска отвечает увеличение ударной вязкости; однако при

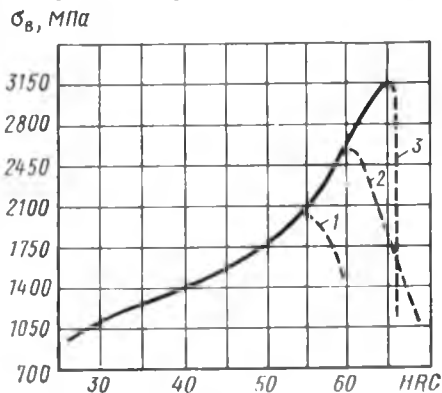


Рис. 3.1. Предел прочности при растяжении (для HRC ≤ 52 ± 53) и при изгибе (для HRC ≥ 54 ± 55) (штриховые линии указывают прочность и твердость, полученные в результате перегрева при закалке):

1 — стали с 0,5 % C, 1,5 % Cr и 2,5 % W;
2 — стали с 1,2 % C, 1,0 % Si, 0,7 % Cr и 1,7 % W; 3 — стали типа P6M5

высокой твердости она остается пониженной. Значительного увеличения вязкости можно достигнуть за счет уменьшения содержания углерода в стали, а также в результате уменьшения твердости до HRC 52—40. Однако даже в этом случае при наличии большого количества карбидов в стали увеличение ударной вязкости может быть небольшим. Поэтому для некоторых видов инструмента высокую твердость создают лишь в поверхностном контактирующем слое, а удовлетворительную ударную вязкость сохраняют в нижележащих слоях. Таким образом, более высокую твердость, необходимую для повышения работоспособности некоторых видов деформирующего инструмента (например, штампов холодного деформирования), можно допустить лишь при упрочнении поверхностного слоя химико-термической обработкой; повышением жесткости системы пресс — деталь — инструмент для уменьшения вибраций; применении сталей с большей вязкостью, в частности — выплавленных в вакууме, полученных электрошлаковым переплавом, изготовленных из распыленных и спеченных порошков и др.

Теплостойкость характеризует способность стали сохранять при нагреве в процессе эксплуатации структуру и свойства (в первую очередь твердость), сформировавшиеся в результате термической обработки. При снижении твердости развивается интенсивное течение металла на рабочей поверхности инструмента и изменяется ее форма, поэтому теплостойкость является важнейшим свойством штамповых сталей. Особое значение имеет то обстоятельство, что теплостойкость определяет не только кинетику изменения прочностных свойств стали в процессе эксплуатации, но и такие важные показатели, как износостойкость, разгаростойкость и др.

Исследования и результаты эксплуатации показали, что теплостойкость является важной характеристикой сталей и для штампов холодного деформирования. Действительно, поверхность тяжело нагруженных инструментов для холодного выдавливания и вырубки может в процессе работы разогреваться до 450—500 °C, в связи с чем обеспечение структурой стабильности сталей после окончательной термической обработки является обязательным требованием. Его выполнение обычно достигается проведением отпуска достаточной продолжительности при температурах, на 50—100 °C превышающих эксплуатационные.

Изучение теплостойкости штамповых сталей показало, что целесообразно применять для изготовления штампов при температурах, °C:

Стали марок

< 550	5Х11М, 5Х11В, 5ХНВС, 5ХГМ
< 620	4Х5В2ФС, 4Х5МФС
< 650	4Х3ВМФ, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф
< 660	4Х2В5МФ, 4Х2СВМФЮ, 4Х4ВМФС, 3Х4В2М2Ф, 5Х4В4МФС
< 680	5Х3В3МФС, 4Х2В2МФС, 4Х3В5М3Ф

Еще более высокую температуру эксплуатации (до 700—720 °C) допускают азотированные штампы.

Сопротивление пластической деформации определяет устойчивость рабочей поверхности штампа против смятия в условиях высоких давлений, возникающих при эксплуатации. Оно характеризуется пределом текучести при сжатии и зависит от тех же факторов, что и твердость: концентрации углерода в мартенсите, количества и дисперсности упрочняющих фаз, количества остаточного аустенита.

К числу свойств, определяющих сопротивление штамповых материалов пластической деформации, относятся характеристики прочности, определяемые испытаниями на растяжение, изгиб, кручение и сжатие. Мягкое нагружение при испытаниях на сжатие и кручение затрудняет учет влияния особенностей структуры (например, величины зерна и распределения карбидов) на прочностные свойства штамповой стали. Поэтому для сталей, предназначенных для изготовления деформирующего инструмента (особенно при твердости ниже HRC 50), наибольшее распространение получили испытания на растяжение и изгиб.

Одноосное растяжение является традиционным методом испытаний, применяемым при исследовании структуры и свойств металлов и сплавов. Несмотря на то что схема нагружения при этом мало соответствует напряженному состоянию, возникающему в реальных инструментах, этот метод определения прочности получил широкое распространение и для штамповых сталей (особенно горячего деформирования). Обладая достаточным запасом пластичности, большинство из них разрушается при испытаниях с заметной остаточной деформацией, давая типичную для многокомпонентных сплавов кривую в координатах σ — ϵ или σ — δ (рис. 3.2). Наличие на кривой 2 характерных точек дает возможность без особых затруднений графически или расчетным путем определить такие показатели, как условный предел текучести (обычно $\sigma_{0,2}$) и предел прочности (σ_B), соответствующий максимальной нагрузке, отнесенной к единице площади первоначального сечения образца.

Такой способ подсчета является условным, так как не учитывает текущего изменения диаметра по мере увеличения нагрузки.

Более реальное представление процессов упрочнения и разупрочнения при испытаниях получают при использовании диаграмм, построенных в координатах S — ϵ или S — δ (пунктирная линия 1 на рис. 3.2), где S — истинное напряжение, равное отношению нагрузки к текущей площади поперечного сечения. В связи с тем что различия между значениями истинных и условных напряжений в упруго-пластической области, представляющей наибольший практический интерес, сравнительно невелики, для характеристики материалов обычно используют показатели $\sigma_{0,2}$ и σ_B .

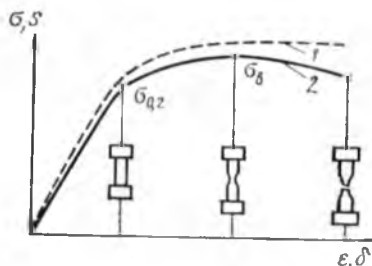


Рис. 3.2. Кривые истинных (1) и условных (2) напряжений

Механические свойства широко распространенных марок сталей для штампов горячего деформирования при комнатной и повышенных температурах приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Механические свойства стали для штампов горячего деформирования

Марка стали	Температура нагрева при термической обработке, °С		Температура испы- таний, °С	Твердость НРС	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КCV, МДж/м²
	закалка	отпуск (2 часа)							
4X5B2ФC	1040	580	20	47,5	1550	1860	10	47	0,45
			400	—	1420	1560	10	50	0,60
			550	—	1150	1300	7	53	0,55
			600	—	1080	1250	10	55	0,60
4X5MФC	1000	560	20	47,0	1620	1780	12	55	0,55
			400	—	1300	1500	12	48	0,65
			550	—	1200	1320	11	50	0,50
4X3BMФ	1060	580	20	47,5	1500	1750	13	52	0,50
			400	—	1320	1460	13	55	0,60
			580	—	1050	1200	12	52	0,60
3X3M3Ф	1040	600	20	46	1500	1700	12	50	0,25
			400	—	1300	1400	10	50	0,60
			550	—	1150	1280	11	52	0,50
			600	—	1000	1150	12	54	0,50
3X2B8Ф	1150	640	20	46,5	1450	1600	8	35	0,20
			600	—	920	1180	10	32	0,30
			600	—	920	1180	10	32	0,30
4X2B5MФ	1080	650	20	46,5	1480	1680	10	42	0,30
			600	—	900	1000	10	48	0,45
			650	—	730	820	11	37	0,50
5X4B4MФC*	1080	650	20	46	1400	1620	5	34	0,25
			600	—	760	920	15	55	0,30
			650	—	550	700	20	65	0,35
3X4B2M2Ф*	1080	620	20	47	1580	1750	8	45	0,25
			400	—	1320	1460	7	45	0,55
			600	—	920	1000	10	48	0,50
			20	48,5	1600	1780	9	38	0,50
4X4BMФC	1070	620	400	—	1330	1500	10	45	0,55
			550	—	1120	1260	11	50	0,50
			600	—	950	1120	12	52	0,55
			20	47,5	1650	1800	5	34	0,20
4X2B2MФC	1080	630	400	—	1400	1520	9	50	0,40
			600	—	950	1100	11	45	0,40
			20	46	1450	1630	7	28	0,20
			400	—	1200	1320	5	28	0,30
4X3B5M3Ф*	1120	660	600	—	900	1000	10	26	0,30
			650	—	620	750	5	30	0,30
			20	46,5	1500	1680	10	38	0,25
			600	—	910	1020	13,5	45	0,30
5X3B3MФC	1130	660	650	—	730	850	14	42	0,40

Примечание. Стали, отмеченные звездочкой, выпускаются по техническим условиям, остальные — по ГОСТ 5950—73.

Для сталей, применяемых для изготовления штампов холодного деформирования, испытания на растяжение производят реже, так как эти стали, обладая высокой твердостью в термически обработанном состоянии, имеют повышенную чувствительность к жесткости нагружения. В тех же случаях, когда для сталей такого типа испытания на растяжение целесообразны, используют образцы такой формы, которая предопределяет место разрушения, что предотвращает преждевременный обрыв у захватов машины и уменьшает рассеяние результатов. Прочность при растяжении сталей для штампов холодного деформирования, давая определенные представления о возможности применения той или иной марки для некоторых типов инструмента (например, корпусов сборных пуансонов, небандажированных матриц), обладает значительно меньшей структурной чувствительностью, чем прочность при изгибе.

Применительно к сталям для штампов холодного деформирования более предпочтительны испытания на изгиб, характеризующиеся, в соответствии с известной диаграммой Я. Б. Фридмана и Н. Н. Давиденкова, значительно меньшей жесткостью напряженного состояния; чем испытания на растяжение. Однако эти испытания, несмотря на их простоту и распространенность, в настоящее время не предусмотрены действующими стандартами.

Испытания на изгиб обладают рядом существенных преимуществ. Во-первых, они более точно, чем испытания на растяжение или сжатие, характеризуют влияние структурных факторов, а следовательно, химического состава и термической обработки на свойства штамповой стали. Во-вторых, они создают напряженное состояние, близкое к возникающему в процессе эксплуатации многих инструментов. Наконец, в-третьих, при испытаниях на изгиб можно использовать гладкие образцы без переходов по сечению, что уменьшает трудно учитываемое влияние концентрации напряжений, неизбежное в образцах сложной формы; за счет этого удастся существенно уменьшить разброс результатов испытаний. Следует иметь в виду, что предел прочности при изгибе является в определенной мере условной характеристикой, так как любое «хрупкое» разрушение сопровождается пластической деформацией, вызывающей изменение напряженного состояния образцов.

Значения предела прочности при изгибе образцов разного сечения неодинаковы: они выше для небольших образцов и ниже при испытании более крупных. Эти различия главным образом связаны с воздействием напряжений и деформаций, создаваемых закалкой и частично сохраняющихся в отпущенной стали. Величина и влияние этих напряжений растут с увеличением сечения образца.

Опыт эксплуатации штампов и выполненные исследования показывают, что высокое сопротивление материала штампов смятию и пластической деформации может быть достигнуто в первую очередь за счет высокой теплостойкости штамповой стали или же уменьшения тепловой нагрузки на гравюру штампа. Каждая штамповая сталь должна иметь свой температурный интервал эксплуатации, в котором ее применение оправдано высокой теплостойкостью.

Поэтому при анализе свойств штамповой стали возникает естественный вопрос: какой уровень теплостойкости и прочностных характеристик штамповой стали обеспечит высокое сопротивление смятию и пластической деформации в заданных условиях эксплуатации и для конкретной конструкции штампового инструмента.

Методы прочностного расчета в настоящее время разработаны лишь для отдельных видов штампового инструмента: для втулок контейнеров гидравлических прессов, для некоторых штампов закрытой штамповки на молотах, вставок для штамповки заготовок лопаток из труднодеформируемых сплавов на КГШП и т. п.

В подавляющем большинстве случаев определенные нормы прочностных характеристик для штамповых материалов назначают на основании производственного опыта эксплуатации штампов. Обычно при повышенном выходе штампов из строя за счет смятия их твердость и предел прочности повышают до тех пор, пока преимущественным видом разрушения штампов не станет разгар или поломка; если при этом стойкость штампов снижается, предел прочности начинают уменьшать.

Иногда условия испытания штамповой стали приближают к условиям эксплуатации штампов; на основании оценки пластической деформации образцов разрабатывают нормы требований к прочностным свойствам штамповой стали.

Недостаточное развитие методов прочностного расчета штампов горячего деформирования следует объяснить сложностью экспериментального и аналитического определения напряженного и деформированного состояния штампов, а также специфическими условиями их нагружения (неравномерностью нагружения и нагрева по гравюре и от поковки к поковке); кроме того, конструктор штамповой оснастки не имеет широкой возможности изменять конструкцию штампа для повышения его прочности, так как размеры и конфигурация поковки неизменны.

Вопросы выбора рациональных показателей прочностных и пластических свойств штамповой стали конкретного назначения наиболее широко разработаны применительно к условиям эксплуатации инструмента для выдавливания прутков, профилей и труб на гидравлических прессах.

Сопротивление усталостному разрушению является важной характеристикой штамповых сталей. Особенно большое внимание этому показателю следует уделять при выборе стали для изготовления тяжелонагруженных штампов холодного деформирования, поскольку значительная часть такого инструмента выходит из строя в результате образования усталостных трещин. Процесс разрушения протекает в такой последовательности: образование под действием циклически изменяющихся напряжений поврежденных участков и усталостных микротрещин; рост их до критических размеров (весьма небольших) с последующим нестабильным (лавинообразным) развитием, приводящим к хрупкому разрушению.

Из большого числа механизмов, предложенных для объяснения протекающих при этом процессов (взаимодействие противопо-

ложных по знаку дислокаций, «осаждение» вакансий, явление «инструзии — экструзии» и др.), отдают предпочтение представлениям, согласно которым начальные стадии развития усталостного разрушения, так же как и в случае однократного нагружения, связаны с образованием у препятствий дислокационных скоплений. В дальнейшем: перемещение дислокаций по наиболее благоприятно ориентированным плоскостям скольжения; торможение и накапливание («выстраивание») дислокаций перед препятствиями (границами зерен, крупными частицами другой фазы, «сидячими» дислокациями и др.); сминание «выстроенных» дислокаций и образование зародышевой трещины — поры («полостной дислокации»); рост трещины до критических размеров и собственно разрушение.

Поле напряжений, возникающее вокруг трещины в процессе ее зарождения и развития, может инициировать работу близлежащих источников дислокаций, приводящую к частичной релаксации напряжений, «гашению» скорости роста трещины и развитию пластического течения в других, ранее не затронутых участках. Соотношение скоростей процессов образования (развития) трещин и релаксации напряжений определяет в конечном итоге вид разрушения и величину сопутствующей ему макропластической деформации.

При операциях холодного объемного деформирования наименьшей стойкостью обладают, как правило, пуансоны и выталкиватели. Определение сопротивления усталостному разрушению целесообразнее всего проводить при малоцикловом (30—50 цикл/мин, база испытаний $1 \cdot 10^4$ — $3 \cdot 10^4$ циклов) нагружении путем пульсирующего сжатия (или сжатия и растяжения) при значениях напряжений в пределах 150—300 МПа. Такая схема испытаний наиболее полно соответствует условиям эксплуатации реальных инструментов для холодного деформирования. При этом используют образцы с заранее предусмотренными концентраторами напряжений оптимальной жесткости, например образцы типа катушек с диаметром рабочей части 8—12 мм.

Для сталей, из которых изготовляют штампы горячего деформирования, особый интерес представляют результаты усталостных испытаний при повышенных температурах.

При циклическом температурно-силовом воздействии в контактном слое штампа происходят изменения физико-механических свойств стали, связанные с протеканием диффузионных процессов и приводящие к изменению структуры и фазового состава, возникновению и развитию дефектов. Поэтому стали, имеющие одинаковую прочность в исходном состоянии и после изотермической выдержки, могут значительно различаться по своим прочностным свойствам после эксплуатации. Исследования показали, что эффект разупрочнения стали при циклическом температурно-силовом воздействии зависит не только от свойств стали, но и от условий эксплуатации или испытаний.

Сопротивление хрупкому разрушению сталей для штампов горячего деформирования оценивают по ударной вязкости KCU , опре-

деляемой по стандартной методике при комнатной и повышенных температурах. Иногда испытывают серию образцов и оценивают процент волокнистой составляющей в изломе. Применительно к сталям для штампов холодного деформирования, обладающим значительно более высокой твердостью, эти методы оценки сопротивления хрупкому разрушению оказываются непригодными, так как получаемые при таких испытаниях значения KCU ($0,01—0,07$ МДж/м²) одинаковы по уровню с рассеянием результатов. Поэтому для качественной оценки поведения этой группы материалов в условиях динамического нагружения обычно используют значение ударной вязкости, определяемое на образцах размером $10 \times 10 \times 55$ мм без надреза. Этот показатель, характеризующий энергию зарождения трещины, в сочетании с отношением предела пропорциональности к пределу прочности и остаточным прогибом при статическом изгибе позволяет в достаточной степени надежности выбирать материалы для работающих при небольших удельных силах (до $1300—1500$ МПа) высадочных, чеканочных, калибровочных и других штампов. Вместе с тем значения ударной вязкости, полученные при таких испытаниях, не могут быть использованы для выбора материалов тяжелонагруженных инструментов объемного деформирования и вырубки, хрупкое разрушение которых (усталостно-хрупкое) инициируется возникновением и развитием дефектов усталостной повреждаемости. В этих условиях более полную информацию о работоспособности той или иной марки стали можно получить при определении послециклической прочности.

Распространена также оценка сопротивления стали хрупкому разрушению на основе определения работы распространения трещины при стандартных ударных испытаниях.

Износостойкость является весьма важным показателем, определяющим срок службы многих штампов для холодного и горячего деформирования. Это сложное свойство. Оно зависит от структуры и свойств штамповой стали и в большей степени от свойств обрабатываемого материала: его твердости, абразивного и коррозионного воздействия, коэффициента трения; от внешних условий, при которых происходит изнашивание: температуры, развивающейся в зоне трения, механических воздействий и эрозии. Из указанных причин следует прежде всего учитывать влияние теплового фактора, условий нагружения и коррозионного воздействия. При изменении даже некоторых из этих факторов необходимо изменять состав, фазовое состояние и другие свойства штамповой стали.

Характер износа (истирания) на различных участках гравюры штампа определяется скоростью течения деформируемого металла, контактным давлением и температурой поверхностного слоя инструмента. В застойных зонах, где напряжения сдвига близки к нулю, износ невелик. В результате механического и молекулярного взаимодействий в приконтактных слоях развивается пластическая деформация, сопровождающаяся увеличением микронеровностей. На поверхности появляются очаги питтинга, которые при достаточной амплитуде термических напряжений способствуют появлению сетки

разгарных трещин. При высоких напряжениях сдвига истирание резко возрастает, образуются бороздки, направление которых совпадает с направлением течения деформируемого металла. Дальнейшее развитие их — результат взаимодействия истирания и разгараобразования.

Одна из важных особенностей трения при обработке металлов давлением состоит в том, что оно происходит при более высоких давлениях, чем в случае наиболее нагруженных подшипников скольжения. В этих условиях не соблюдается закон трения Амонтона — Кулона; действительная связь между силой трения и давлением имеет экспоненциальный характер.

Другими особенностями трения в системе «штамп — заготовка» являются: повышенная температура поверхности за счет теплопередачи, трения и деформирования; появление высоких температурных градиентов и, следовательно, термических напряжений в поверхностном слое; пластическая деформация поверхностного слоя; протекание процессов упрочнения, разупрочнения и структурных превращений.

Технологическая смазка оказывает большое влияние на поведение поверхностей штампа и заготовки. Если по своим структурно-механическим свойствам смазывающий материал способен полностью экранировать трущуюся поверхность, то сдвиг поверхности деформируемого металла относительно поверхности инструмента происходит вне металла и сопротивление соответствует сопротивлению сдвига в объеме смазывающего материала. Если же смазывающий материал не способен обеспечить полного экранирования трущихся поверхностей, вероятность чего при процессах обработки металлов давлением из-за выдавливания и разрыва экранирующей пленки велика, сдвиг благодаря схватыванию перемещается в поверхностные слои металла. Разрыв пленки отмечается на наиболее износочувствительных участках гравюры, которые, собственно, и определяют стойкость инструмента.

При сухом трении резко возрастает роль схватывания, под которым понимают образование прочного соединения металлов при отсутствии нагрева или нагреве ниже температуры рекристаллизации. Схватывание является причиной образования неровностей на трущейся поверхности. Эти неровности препятствуют свободному течению металла, под воздействием которого могут оказаться вырванными и выступы поверхности штампа. Твердость вырванных частиц, в особенности учитывая их деформационное упрочнение, сопоставима или даже выше твердости поверхности гравюры, что усиливает абразивное действие деформируемого металла.

В соответствии с современными воззрениями механизм абразивного изнашивания сводится либо к микрорезанию, либо к усталостному разрушению в результате повторного деформирования микроучастков поверхности. Схватывание (по одной из гипотез) связано с тем, что при совместном деформировании в процессе трения одинаковые кристаллографические плоскости, расположенные параллельно друг другу, самопроизвольно соединяются, так

как свободная энергия системы при соединении уменьшается. Энергетическая же гипотеза основана на предположении о том, что для схватывания необходимо кроме непосредственного контакта чистых металлических поверхностей повышение энергии кристаллической решетки до определенного уровня — энергетического порога схватывания.

Для схватывания необходима определенная степень деформации. Схватывание предварительно наклепанных металлов происходит при меньшей деформации, но при большем давлении; схватывание при повышенных температурах — при значительно меньших и деформациях, и давлениях. Чем значительнее искажена при этом кристаллическая решетка за счет атомов примесей, тем ниже способность металла к схватыванию и, следовательно, тем выше его антифрикционные свойства.

Большую роль в процессе изнашивания играет окисление поверхностных слоев, которое сопровождается образованием твердых растворов и химических соединений кислорода с металлом. Наличие окисления или схватывания — процессов, исключаящих друг друга, — определяет силу трения и износ.

Пластическая деформация рассматривается здесь не только как фактор, определяющий истирание, но, как это было показано выше, и в качестве отдельной причины износа, под которым понимается изменение формы гравюры в процессе эксплуатации.

Пластическая деформация определяет значения сил трения и величину износа. Отмечается прямая зависимость между износом и глубиной деформированного слоя. Многократному уменьшению глубины деформированного слоя способствует диффузионное упрочнение штамповой стали. Заметное снижение глубины проникновения пластической деформации и соответственное уменьшение износа отмечено также в случае испытаний образцов литых штамповых сталей, обладающих большей степенью гетерогенности распределения частиц упрочняющей фазы. Это показывает, что глубина распространения остаточной деформации под поверхностью трения у образцов, имеющих сетку твердых включений по границам пластичных зерен, во всех случаях меньше, чем у образцов с изолированными включениями, т. е. упрочненные границы зерен ограничивают смещение металла вдоль плоскостей скольжения. Этим же обстоятельством в значительной мере объясняется и сохранение высокой износостойкости диффузионно-упрочненного инструмента после разрушения твердого поверхностного слоя карбидов хрома или боридов.

Связь между износом, пластической деформацией поверхностного слоя и свойствами околослойной зоны может быть объяснена на основании концепции об определяющей роли упрочнения и отдыха в процессе деформирования. При трении поверхностные слои металла наклепываются до некоторого предела независимо от степени их предварительного обжатия, причем возникающее при этом поле деформационных искажений характеризуется более широким температурным интервалом отдыха.

Работоспособность поверхности трения определяется формирующейся в процессе эксплуатации структурой. Она формируется под воздействием сложной совокупности процессов, сопровождающих трение (пластическая деформация, фрикционный разогрев, диффузионные процессы и др.). Поэтому для повышения износостойкости кузнечно-штамповочного инструмента следует создавать структуру стали для конкретных условий трения.

Роль пластической деформации при изнашивании является решающей не только в условиях работы кузнечных штампов, но и деталей машин, эксплуатирующихся при относительно малых давлениях. Влияние структуры и ее составляющих в значительной мере сводится к способности локализовать процесс пластической деформации. Исследование износа с применением непрерывного рентгеновского анализа показало увеличение количества аустенита в поверхностном слое и соответствующее ему усиление схватывания и образования задиров. Отмечается возможность аустенитно-мартенситного превращения и коагуляции карбидных частиц под влиянием процесса изнашивания. Наличие мартенситного превращения подтверждено рентгеновским анализом. Вторичной закалкой стали объясняется появление в поверхностном слое белой слаботравящейся фазы, обладающей высокой твердостью.

Исследование износостойкости среднеуглеродистых сталей, легированных одним элементом, позволяет расположить легирующие элементы в ряд по степени влияния их на износ. Однако изменение условий трения (повышение давления и температуры) приводит к существенному изменению последовательности расположения элементов в таком ряду. Как правило, сопротивление изнашиванию увеличивается с повышением содержания в стали карбидообразующих легирующих элементов и углерода. Присутствие некарбидообразующих элементов в стали мартенситного класса может быть вредным. Повышение износостойкости за счет введения карбидообразующих элементов возрастает в такой последовательности: хром, вольфрам, молибден, ванадий. Испытание сталей, содержащих эти элементы, в условиях, имитирующих ковку, показало снижение износа в 2, 5, 10, 40 раз.

В настоящее время практически отсутствует стандартное оборудование, предназначенное для изучения износостойкости штамповых материалов. Поэтому исследователи в каждом конкретном случае разрабатывают приспособления и машины, способные изменять режимы температурно-силового воздействия.

Правильный выбор материала, обладающего высокой износостойкостью в условиях работы штампов, невозможно выполнить на основании косвенных показателей. Необходимы всесторонние сравнительные испытания на износ в лабораторных и производственных условиях. Испытания в производственных условиях могут быть проведены следующим образом. Подбирают штамп с гравюрой, отвечающей двум условиям: во-первых, преобладающим видом износа является истирание и, во-вторых, конструкция позволяет изготовить гравюру или часть ее из наборных элементов. При

достаточном числе этих элементов можно одновременно в одинаковых условиях изучать поведение того или иного инструментального материала в зависимости от характера термической, химико-термической и других видов обработки.

Разгаростойкость, называемая тоже сопротивлением термической усталости, характеризует устойчивость стали против образования поверхностных трещин при многократном нагреве и охлаждении. Наличие высоких градиентов напряжений у поверхности термоциклирования и пластической деформации одного или обоих знаков — важнейшая отличительная черта развития термоусталостных процессов. Под воздействием термических напряжений происходит искажение формы тела и его разгарное разрушение.

Температурные условия — максимальная и минимальная температуры цикла — оказывают доминирующее влияние на разгаростойкость. Разгаростойкость зависит от обеих температур (амплитуды), но в первую очередь от максимальной. С увеличением суммарной пластической деформации под действием термических напряжений разгаростойкость падает. Особое значение имеет величина пластической деформации за цикл. Продолжительность цикла и время выдержки при максимальной температуре цикла следует учитывать при высоких температурах испытаний, когда возможны релаксация напряжений и протекание процессов, связанных с ползучестью.

Другие факторы, влияющие на сопротивление термической усталости, это: теплопроводность, с ее повышением снижается температурный градиент, однако подвод теплоты в процессе штамповки столь велик, что реальная разница в пиковых значениях температур для различных штамповых сталей оказывается незначительной; коэффициент линейного расширения, значения которого у штамповых сталей близки; теплоемкость и плотность, оказывающие минимальное влияние.

Концентраторы напряжений, влияя на величину пластической деформации в вершине надреза, заметно снижают сопротивление термической усталости. Они фактически являются концентраторами деформации. В связи с этим при образовании разгарных трещин определенную роль играет качество обработки поверхности. Независимо от твердости материала трещины на грубошлифованной поверхности образуются раньше и развиваются быстрее, чем на полированной поверхности.

Развитие термической усталости многократно усиливается, если термоциклирование сопровождается фазовыми превращениями. Так, например, установлено, что если максимальная температура превышает температуру аустенитизации, а минимальная опускается ниже температуры начала мартенситного превращения, число циклов до появления трещины глубиной 0,5 мм в 8 раз меньше по сравнению со случаем, когда охлаждение не приводит к мартенситному превращению. Поэтому предотвращение фазовых превращений является важным направлением в повышении стойкости инструмента. Избежать этих превращений можно, во-первых, применением контролируемого подогрева инструмента перед началом

работы и охлаждения в процессе штамповки, т. е. за счет поддержания минимальной температуры цикла на заданном уровне, вторых, изменением содержания легирующих элементов.

Как уже отмечалось, в процессе термоциклирования изменяются свойства штамповых материалов. После 800 циклов при максимальной температуре 650 °С предел прочности уменьшается более чем в 3 раза. Аналогично ведет себя твердость. Изменение пластичности в большей мере определяется исходными свойствами металла. У более вязкого низколегированного металла пластичность падает с самого начала испытаний, причем особенно интенсивно в течение первых 200 циклов. У более хрупкого в исходном состоянии материала в результате воздействия теплосмен пластичность несколько повышается вследствие отпуска. Однако после определенного числа циклов она падает под влиянием роста зерна и термоусталостных процессов. Макроанализ излома образцов после испытаний на растяжение показывает постепенное охрупчивание металла, о чем можно судить по уменьшению деформации в области шейки. Степень охрупчивания особенно высока в поверхностном слое. Поэтому при растяжении внешне неповрежденного образца на его поверхности вскрывается множество трещин. Все это свидетельствует о том, что еще задолго до появления разгарных трещин в металле протекают процессы, которые их подготавливают.

В начальный период развития термической усталости возможно как упрочнение металла, так и его разупрочнение и «разрыхление». Процесс упрочнения отмечается преимущественно при низких напряжениях. В условиях же резких теплосмен разупрочнение и «разрыхление» металла наступают уже при малом числе циклов. Поэтому на кривых микротвердости упрочняющий эффект не обнаруживается. С увеличением числа циклов теплосмен износостойкость металла монотонно снижается. Степень этого снижения зависит от материала образцов и объясняется образованием микронесплошностей и микротрещин в поверхностном слое, облегчающих истирание.

Вопросы о критериях разгарообразования и напряженном состоянии в процессе термоциклических испытаний имеют важное значение при изучении проблемы термоусталостного сопротивления штамповых материалов. В качестве критериев оценки разгаростойкости чаще всего используют число циклов до появления первых трещин, их протяженность на единице поверхности, глубину развития. Эти и им подобные показатели, хотя и связаны между собой, отражают различные стороны процесса, что затрудняет нахождение корреляционной связи между ними.

Разгарообразование материала может быть достаточно всесторонне представлено двумя графиками, отображающими распространение трещин по поверхности циклирования и в глубину от нее в зависимости от числа циклов теплосмен. Такие графики содержат также информацию о начале видимого разрушения (т. е. третий критерий). Отражая кинетическую сторону трещинообразования и влияние на него свойств материала, эти зависимости не связаны

непосредственно с термическими напряжениями. При изучении механической усталости такая зависимость обычно представляется кривыми Велера.

Метод исследования термоусталостного сопротивления материалов, который состоит в одновременном испытании в одинаковых температурных условиях достаточно большого числа образцов, имеющих форму толстостенного кольца, позволяет значительно продвинуться в решении данной проблемы. Разница в напряженном состоянии при выбранном способе нагрева — охлаждения определяется в этом случае наружным диаметром. Расчетным путем определяются значения температур и напряжений в зависимости от принятых условий испытаний или параметры испытаний, которые обеспечивают различные значения амплитуды термических напряжений. Это позволяет получить зависимости, подобные кривым Велера для усталостных испытаний при механическом нагружении.

Графики (рис. 3.3, а) температурно-усталостных зависимостей, полученных для образцов диаметром $d=40$ мм (N — число циклов нагружения), свидетельствуют о том, что разные штамповые стали

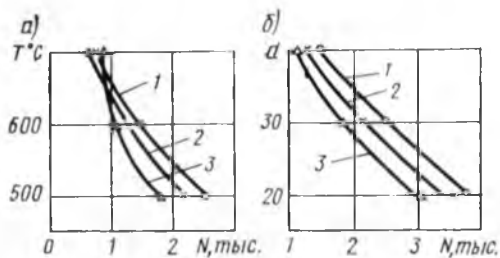


Рис. 3.3. Температурно-усталостные (а) и напряженно-усталостные (б) кривые штамповых сталей марок: 1 — 4X5MΦC; 2 — 5X3B3MΦC; 3 — 3X2B8Φ

неодинаково ведут себя в различных температурных диапазонах. Так, при максимальной температуре цикла 500 °C лучше ведет себя сталь марки 4X5MΦC, а при 700 °C — 3X2B8Φ. В этом, очевидно, сказывается влияние различных соотношений механических свойств указанных сталей при данных температурах. Графики (рис. 3.3, б) напряженно-усталостных

зависимостей, полученных при одинаковых температурах (60 °C) для образцов различных диаметров, позволяют оценить поведение материалов в зависимости от напряженного состояния.

Стандартизованных методик и оборудования для определения разгаростойкости штамповых материалов в условиях термического и термомеханического воздействия в настоящее время нет. Поэтому в каждом случае разрабатываются установки и устройства, учитывающие конкретные условия эксплуатации штампов. Так, для определения влияния напряжений чисто термического характера на разгаростойкость опыты проводят на образцах, подвергаемых по заданной программе попеременно нагреву (индукционному, печному или в расплавах) и резкому охлаждению (водой или водовоздушной смесью). За показатели, характеризующие разгаростойкость, в этих случаях принимают обычно число циклов до возникновения первых трещин или общую протяженность трещин после заданного числа циклов.

Прокаливаемость и закаливаемость. Прокаливаемость является важным свойством штамповых сталей, так как степень однородности структуры и механических свойств по сечению определяет работоспособность большинства штампов горячего и холодного деформирования. Прокаливаемость определяет распределение твердости по сечению инструмента, а следовательно, его сопротивление высоким давлениям (при получении закаленного слоя достаточной толщины) и динамическим нагрузкам (при сохранении вязкой сердцевины).

Прокаливаемость стали при одинаковых условиях охлаждения зависит от состава переохлажденного аустенита, а следовательно, от его устойчивости в области перлитного и промежуточного превращений. Леггирующие элементы существенно влияют на кинетику распада аустенита, а следовательно, и на прокаливаемость штамповой стали. Изменения в составе аустенита зависят от многих факторов, которые трудно учесть заранее; небольших изменений в форме, составе и размерах карбидов (т. е. условий выполнения предшествовавших горячей механической обработки и отжига), незначительных колебаний температуры и условий охлаждения при закалке, а также ряда металлургических особенностей плавки. Марганец и кремний, присутствующие в стали, растворяются в аустените в зависимости от того, в каком количестве они связаны в сульфидах и оксидах. На прокаливаемость влияет и величина действительного зерна аустенита, так как преимущественно на границе зерен образуются зародыши новой фазы; уменьшение суммарной протяженности границ при росте зерен повышает устойчивость переохлажденного аустенита. Следовательно, большие различия в прокаливаемости сталей одной марки наблюдаются в тех случаях, когда они выплавлены на разных металлургических заводах.

Под закаливаемостью понимают способность стали приобретать в результате закалки мартенситную структуру и высокую твердость в поверхностном слое. Закаливаемость, так же как и прокаливаемость, зависит от устойчивости переохлажденного аустенита в перлитной и промежуточной областях превращения. Однако прокаливаемость и закаливаемость, как свойства стали, существенно отличаются друг от друга. Закаливаемость определяется полнотой мартенситного превращения в поверхностных слоях штампа и зависит при определенной степени легированности твердого раствора от скорости охлаждения этих слоев. В отличие от закаливаемости прокаливаемость является свойством, связанным с наличием градиента температур в реальном штампе и характеризует степень неоднородности превращения по сечению.

Закаливаемость доэвтектоидных углеродистых сталей при охлаждении в обычной среде (воде при 20 °С) зависит от содержания в них углерода; они получают высокую твердость (HRC 60) при содержании углерода более 0,6 %. Закаливаемость заэвтектоидных сталей и сталей ледебуритного класса, состав аустенита которых отличается от состава стали и которые по технологическим соображениям охлаждают в различных средах, зависит (как и прокали-

ливаемость) от состава переохлажденного аустенита и условий охлаждения, определяемых охлаждающей средой и сечением изделия. Для этих сталей увеличение содержания углерода неоднозначно повышает закаливаемость.

Для определения прокаливаемости и закаливаемости штамповых сталей в зависимости от их химического состава применяют различные методы. Прокаливаемость углеродистых и низколегированных инструментальных сталей определяют по стандартной методике: образцы сечением 20×20 мм закаливают в воде и оценивают вид излома по шестибалльной шкале, визуально определяют толщину закаленного слоя, т. е. прокаливаемость стали; измеряя поверхностную твердость, устанавливают ее закаливаемость.

Прокаливаемость стали с повышенным содержанием легирующих элементов определяют известным методом торцевой закалки (ГОСТ 5657—69): находят характеристическое расстояние от закаленного торца образца до зоны с заранее устанавливаемой структурой или твердостью. С помощью таблиц и номограмм по этому расстоянию устанавливают прокаливаемость (предельный диаметр цилиндра с твердостью HRC 60 в сердцевине) и закаливаемость (предельный диаметр цилиндра с твердостью HRC 60 на расстоянии 0,5 мм от поверхности).

Для высоколегированных глубокопрокаливающихся сталей метод торцевой закалки неприменим. Поэтому для определения прокаливаемости высоколегированных сталей используют различные методы теплового моделирования условий охлаждения инструмента больших размеров. К ним относят методы охлаждения образцов в теплоизоляционной упаковке (например, асбесте), охлаждение образцов, плотно закрепленных в массивной стальной обойме, имеющие равные высоту и наружный диаметр, и др. При этом образцы исследуемых марок стали нагревают до температуры заковки (вместе с теплоизоляцией или обоймой) и охлаждают в различных средах. По распределению твердости по длине образца, извлеченного из теплоизоляции или обоймы, устанавливают, на какую глубину и до какой твердости он прокаливается; твердость по краям образца показывает его закаливаемость в соответствующих средах и сечениях.

Наиболее просты методы сравнительной оценки прокаливаемости и закаливаемости штамповых сталей. Образцы небольших размеров (диаметром 15—20 мм или сечением 10×10 — 20×20 мм) закаливают с охлаждением в различных средах (включая охлаждение на воздухе, в песке и вместе с печью) и по полученным данным рассчитывают условия охлаждения массивных деталей инструмента. Так, например, скорость охлаждения на воздухе образца сечением 10×10 мм равна скорости охлаждения в масле центра цилиндра диаметром 70—80 мм; скорость же охлаждения такого образца в песке равна скорости охлаждения центра цилиндра диаметром 100 мм в масле.

По прокаливаемости и закаливаемости штамповые стали можно разделить на следующие группы:

стали небольшой прокаливаемости, а также и небольшой закаливается. Эти стали закаляются на мартенситную структуру только при охлаждении в воде или водных растворах; их прокаливаемость на твердость HRC 60 составляет 10—15 мм, а закаливаемость — 40—50 мм;

стали повышенной прокаливаемости, а также и повышенной закаливаемости. Эти стали закаляются на мартенситную структуру при охлаждении в масле и горячих средах;

стали высокой прокаливаемости, а также высокой закаливаемости. Эти стали закаляются на мартенсит даже при охлаждении на воздухе; твердость сердцевины таких сталей практически не отличается от твердости поверхности, поэтому и прокаливаемость, и закаливаемость характеризуются одинаковым критическим диаметром.

В соответствии с классификацией, принятой в СССР и США, к штамповым сталям небольшой прокаливаемости (диаметр 10—15 мм) относят углеродистые стали марок У7, У8; повышенной прокаливаемости (диаметр 50—80 мм) — стали марок 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ и т. п.; остальные штамповые стали являются сталями высокой прокаливаемости (диаметр 80—100 мм и более).

Следует отметить, что эта классификация относится к прокаливаемости на твердость HRC 60; при необходимости обеспечить твердость на уровне HRC 40—45 стали типа 5ХВ2С и 5ХНМ также являются сталями высокой прокаливаемости.

Устойчивость против деформации и образования трещин — важное технологическое свойство штамповой стали. Деформация штампового инструмента возможна при обработке давлением и резанием, однако она больше при термической обработке (в основном, закалке). При деформации изменяются форма, линейные и угловые размеры штампов. Изменения угловых размеров необратимы — их должны устранять шлифованием и правкой, выполнение которых для малопластичной стали сложно. Изменения линейных размеров частично обратимы — они уменьшаются при последующем отпуске.

Деформация является следствием напряжений, возникающих неоднородно во времени и неравномерно по различным сечениям и участкам инструмента. Напряжения и их распределение, а следовательно, деформации и их направление зависят от химического состава и особенностей строения стали, формы и размеров инструмента, условий нагрева и охлаждения при закалке.

Деформации при закалке вызываются главным образом объемными изменениями стали во время охлаждения в температурном интервале мартенситного превращения и в меньшей степени температурным градиентом. Изменение размеров изделий возрастает с увеличением тетрагональности решетки мартенсита, т. е. при повышении в нем концентрации углерода. Поэтому повышение температуры закалки, способствующей более полному растворению карбидов и насыщению твердого раствора углеродом, усиливает деформацию; это справедливо, если одновременно и значительно

не возрастает количество остаточного аустенита, влияющего на деформацию в противоположном направлении. Деформация увеличивается при исходной структуре пластинчатого перлита и повышенной карбидной неоднородности. Снижению деформации способствуют исходная структура зернистого перлита, увеличение количества труднорастворимых при закалке карбидов, увеличение количества остаточного аустенита, снижение температуры и продолжительности выдержки при закалке. Наличие в стали большого количества карбидов приводит к анизотропии деформации, выражающейся в неодинаковом изменении линейных размеров в продольном и поперечном направлениях. Это обусловлено влиянием карбидов легирующих элементов. Их коэффициент термического расширения отличается от коэффициента термического расширения металлической основы. Карбиды, расположенные в катаной (кованой) стали в виде строк вдоль направления прокатки, усиливают удлинение вдоль этих строк и способствуют сжатию или меньшему удлинению в перпендикулярном направлении.

Анизотропия деформации усиливается с увеличением количества карбидов и их полосчатости в структуре. В то же время она уменьшается при однородном распределении карбидов (или при расположении их в виде сетки, как это наблюдается в литой стали). Она сильнее проявляется при закалке, вызывающей мартенситное превращение, т. е. при увеличении объема металла и возникновении растягивающих напряжений. Анизотропия меньше при сжимающих напряжениях.

Резкому уменьшению деформации штамповой стали способствует закалка с замедленным охлаждением (на воздухе) и последующий отпуск. При такой закалке снижаются тепловые и фазовые напряжения тем больше, чем с более низких температур закаливается сталь (из-за меньшего температурного градиента). Вследствие более равномерного охлаждения и меньшего перепада температур по сечению инструмента в этом случае обеспечивается также и меньшая концентрация напряжений в отдельных участках. Поэтому при воздушной закалке уменьшается коробление. Еще энергичнее действует отпуск. Если линейные изменения образцов различных штамповых сталей после закалки колеблются от 0,35 до 0,6 %, то после последующего отпуска — от 0,01 до 0,14 %, т. е. уменьшаются в 4—6 раз и более. Деформацию штамповой стали можно уменьшить и предварительной закалкой инструмента с межкритического интервала температур и отпуска при 500—600 °С. Последующая окончательная закалка вызывает почти такой же прирост линейных размеров, как и обычная закалка отожженной стали, не подвергавшейся такой предварительной обработке. Однако прирост размеров происходит от меньших исходных значений, поэтому абсолютное увеличение линейных размеров значительно меньше: в 2—3 раза в случае высоколегированных сталей с большим количеством карбидов и в 5—6 раз для менее легированных сталей. При предварительной закалке с межкритического интервала температур значительно уменьшается также анизотропия деформации.

При больших напряжениях (в первую очередь закалочных) пластическая деформация инструмента может достигнуть критического значения; это приводит к образованию трещин. Как правило, трещины возникают при охлаждении в температурном интервале мартенситного превращения, но могут появляться не только в момент закалки, но и после нее вследствие перераспределения напряжений. В результате релаксационных процессов в неотпущенной стали, протекающих при комнатной температуре и приводящих к повышению прочности, чувствительность к трещинам постепенно уменьшается. Если же инструмент находится под нагрузкой, чувствительность его к трещинам может увеличиться. У инструментов, прокаливаемых полностью или на значительную глубину, трещины образуются в поверхностных слоях. Это чаще всего глубокие продольные трещины, начинающиеся от поверхности и направленные вдоль изделия. В инструментах из стали небольшой прокаливаемости, прогреваемых полностью и получающих при резком охлаждении в воде мартенситную структуру в поверхностном слое и трооститную структуру с твердостью HRC 40—50 в сердцеvine, возникают внутренние дугообразные трещины. Они начинаются главным образом вблизи концентраторов напряжений: острых и прямых углов или отверстий, и в отдельных случаях распространяются по поверхности. Однако эти трещины не образуются при закалке с индукционного нагрева, когда в сердцеvine сохраняется пластичная перлитная или сорбитная структура, а в поверхностном слое возникают сжимающие напряжения.

Таким образом, на чувствительность штамповой стали к образованию трещин при термической обработке влияют в основном те же факторы, что и на чувствительность к деформации. Помимо этого образованию трещин при закалке способствует неудовлетворительное состояние поверхности штампов: обезуглероживание, риски, надрезы, концентраторы напряжений на участках резкого изменения сечений и др. Чувствительность к образованию трещин ниже при небольшой прокаливаемости и закаливаемости стали и пониженной релаксационной стойкости. Ее можно уменьшить снижением температуры закалки, скорости охлаждения, а также отпуском немедленно после закалки.

Устойчивость против перегрева и пережога. При перегреве штамповой стали интенсивно увеличиваются размеры зерен и снижаются механические свойства: сопротивление малым пластическим деформациям, предел прочности и особенно ударная вязкость. Поэтому штамповые стали должны обладать устойчивостью против перегрева. Перегрев отмечается при повышенных температурах горячей обработки давлением и закалки. Отрицательное влияние перегрева и температура, при которой он развивается, неодинаковы для штамповой стали разного состава. Наименее чувствительны к перегреву стали, содержащие повышенное количество труднорастворимых карбидов; кроме того, чем меньше углерода в стали, тем она менее чувствительна к перегреву.

Чувствительность к перегреву определяют по величине зерна, получаемого в результате нагрева стали до различных температур. При нагреве до одинаковой температуры стали, имеющие более мелкое зерно, обладают меньшей чувствительностью к перегреву. На основании таких испытаний выбирают рациональные температуры закалки штамповой стали: так, например, для обеспечения высокой теплостойкости и износостойкости температура закалки штамповой стали должна обеспечить величину аустенитного зерна 8—9 баллов (по ГОСТ 5639—82), для обеспечения высокой прочности и разгаростойкости — не крупнее 10—12 баллов. Величина зерна стали для штампов холодного деформирования должна соответствовать 10—11 баллу.

Наибольшей устойчивостью против перегрева обладают высоковольфрамовые быстрорежущие стали; рациональная температура закалки этих сталей превышает 1250 °С. Температура закалки штамповых высоковольфрамовых сталей достигает 1150—1200 °С, большинства других высоколегированных штамповых сталей — 1000—1100 °С; наконец, температура закалки среднелегированных штамповых сталей составляет 800—900 °С. Последствия перегрева могут быть легко устранены промежуточной (дополнительной) рекристаллизационной обработкой (например, отжигом).

В отличие от перегрева пережог приводит не только к росту зерна и снижению механических свойств, но и к появлению оплавления границ зерен. В результате свойства изменяются необратимо: заготовки, пораженные пережогом, разрушаются при ковке или прокатке.

Устойчивость против окисления и обезуглероживания. Обезуглероживание и окисление поверхностного слоя возникают при нагреве штампов для горячей деформации, отжига и закалки, выполняемых без применения защитных сред. При обезуглероживании содержание углерода в поверхностном слое уменьшается. Значительное обезуглероживание, при котором содержание углерода уменьшается ниже 0,4 %, приводит к снижению твердости закаленной и отпущенной стали и ухудшает стойкость штампов. Кроме того, это служит причиной образования трещин при закалке и налипанию обрабатываемого материала на рабочую поверхность инструмента. При меньшем обезуглероживании (до 0,6 %) заметного снижения твердости заэвтектоидной стали не происходит, но уменьшается число избыточных карбидов. В результате создаются условия для роста зерна в рабочем слое при нагреве под закалку, снижаются прочность и стойкость инструмента.

При окислении в поверхностном слое углеродистой штамповой стали образуется окалина, в состав которой обычно входят оксиды Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO ; ниже расположен слой обезуглероженного металла. Окисление легированной штамповой стали сводится к окислению составляющих ее элементов. Элементы, обладающие при высоких температурах большим сродством к кислороду, чем железо, повышают сопротивление стали окислению. Окисляясь легче, чем железо, они способствуют получению на поверхности металла

окалины, состоящей из вполне устойчивых оксидов, отличных по природе и свойствам от оксидов железа. Сопротивление дальнейшему окислению будет уже зависеть от свойств покрывающей металл пленки. Плотная и прочная пленка оксидов, прилегающая к основному металлу, непроницаема для кислорода. Наоборот, при образовании неплотной, рыхлой пленки оксидов сопротивление стали окислению уменьшается.

Помимо условий нагрева (температура и время выдержки, среда) на развитие окисления и обезуглероживания влияет химический состав стали. Обезуглероживание значительно у сталей с повышенным содержанием углерода. Кроме того, интенсифицировать обезуглероживание и сместить начало его развития к более низким температурам могут кремний при содержании его более 0,8—1 %, молибден и кобальт при содержании каждого из них более 3—3,5 %. Окисление уменьшается при содержании в твердом растворе кремния 0,8—1,2 % и хрома более 2—3 % (при температурах нагрева до 700 °С). При более высокой температуре нагрева стали необходимо большее содержание хрома (5—8 %).

Контроль устойчивости штамповых сталей против обезуглероживания и окисления производят по стандартным методикам: ГОСТ 1763—68 (обезуглероживание) и ГОСТ 6130—71 (окалиностойкость). При закалке сталей, склонных к окислению и обезуглероживанию, необходимо особенно тщательно соблюдать технологический режим, с тем чтобы не допустить образования дефектов на поверхности штампового инструмента.

Мероприятия для предупреждения окисления и обезуглероживания штампов включают использование различных защитных средств: упаковку чугуной стружкой, древесным углем, отработанным карбюризатором, применение контролируемых атмосфер и расплавленных солей. Реже для штампов применяют нагрев в нейтральной атмосфере (аргоне) и в вакууме.

Обрабатываемость давлением и резанием. *Обрабатываемость давлением* штамповых сталей в холодном состоянии зависит от вида напряженного состояния, возникающего при деформировании. Для операций, при которых происходит течение стали (вытяжка, выдавливание, высадка), лучшая обрабатываемость создается при низком пределе текучести и пониженном отношении предела текучести к пределу прочности. Деформация протекает при этом равномернее в результате упрочнения, наблюдающегося в деформируемых участках и поэтому не требуется получать возможно низкий предел прочности. Следовательно, характеристика способности принимать деформацию в этих условиях только по твердости для ряда сталей может быть недостаточно точной. Оценка по твердости более надежна для сталей эвтектоидных и заэвтектоидных (особенно углеродистых), для которых снижение предела текучести сопровождается почти таким же снижением предела прочности. Этому изменению свойств отвечают значительная коагуляция карбидной фазы и уменьшение концентрации легирующих элементов в феррите. Она справедлива и для теплостойких штамповых сталей; холодная де-

формация, выполненная, например, для нанесения гравюры, облегчается при твердости HB 210 и ниже.

Обрабатываемость давлением в горячем состоянии характеризуется сопротивлением деформированию и пластичностью штамповой стали при температурах обработки. Повышение общего уровня легирования штамповых сталей, как правило, вызывает снижение технологической пластичности и увеличение опасности возникновения термических трещин при ускоренном охлаждении после деформации.

Производительность при *резании штамповых сталей* и стойкость режущего инструмента зависят от их структуры и твердости. Лучшая обрабатываемость резанием достигается при структуре зернистого перлита. Производительность резания возрастает при снижении сопротивления отрыву (срезу), а следовательно, твердости и предела прочности. Поэтому она увеличивается с усилением коагуляции карбидной составляющей перлита. Производительность резания выше у углеродистых сталей, перлит которых коагулирует в наибольшей степени, а α -фаза не содержит легирующих элементов.

Легирующие элементы повышают твердость отожженной стали, затрудняя коагуляцию карбидов при отжиге и увеличивая твердость феррита. Особенно значительно снижается производительность резания при введении в сталь повышенного количества кремния. Присутствие в стали значительных количеств остаточного аустенита приводит к снижению производительности резания. На обрабатываемость резанием стали со структурой зернистого перлита после отжига отрицательное влияние оказывают избыточные карбиды высокой твердости. Для сталей, содержащих большое число таких карбидов, прямая зависимость между твердостью и производительностью резания отсутствует.

Шлифуемость является важным технологическим свойством, во многом определяющим качество готового штампа. Поведение сталей при шлифовании обусловлено их структурой и свойствами абразивного материала. Тонкий поверхностный слой стали при шлифовании абразивами из корунда и электрокорунда может нагреваться до очень высоких температур. В этих случаях состояние шлифованной поверхности и производительность шлифования в значительной мере зависят от структуры стали. В присутствии твердых карбидов хрома и ванадия стойкость абразивных кругов снижается. Они быстрее затупляются, что вызывает дополнительное повышение температуры в зоне шлифования. В отдельных участках происходит образование структуры троостита и превращение остаточного аустенита (у сталей для штампов холодного деформирования). Превращение аустенита в зоне шлифования создает дополнительные напряжения и может привести к образованию шлифовочных трещин. К трещинам чувствительнее стали, содержащие более 10—12 % остаточного аустенита или недостаточно отпущенные. У теплостойких сталей, в которых после отпуска меньше углерода в мартенсите и отсутствует аустенит, трещины наблюдаются реже. При еще более высоком нагреве происходит вторичная закалка

ка, характеризующая ростом твердости и образованием повышенного количества остаточного аустенита; при этом возникают значительные напряжения. Крупные карбидные включения, выходящие на поверхность, при шлифовании могут выкрашиваться.

Для предупреждения образования шлифовочных трещин следует, во-первых, ограничивать толщину слоя, снимаемого за проход; так, например, для инструментов, испытывающих повышенные растягивающие напряжения (пуансоны для выдавливания и др.), толщина снимаемого слоя не должна превышать 0,1 мм. Во-вторых, штампы после шлифования следует подвергать отпуску.

Существенно повысить качество поверхности штампов и производительность при шлифовании, особенно сталей, содержащих 3—5 % ванадия, можно за счет применения новых абразивных материалов — нитрида бора (кубанит, эльбор), искусственных алмазов и др. В этом случае структура и свойства шлифованного поверхностного слоя, как правило, не ухудшаются, в поверхностном слое появляются сжимающие напряжения. Это повышает циклическую прочность по сравнению с получаемой после шлифования карбундовыми кругами.

На работоспособность деформирующего инструмента существенное влияние оказывает качество поверхности. Возникновение прижогов и шлифовочных трещин недопустимо. При небольших подачах шероховатость шлифованной поверхности определяется не только твердостью металлической основы шлифовочного круга, но и размерами карбидов поверхностного слоя штампа; высота микронеровностей меньше у стали с более мелкими и равномерно распределенными карбидами. Поэтому стойкость штампов, шлифованных кругами из нитрида бора и искусственных алмазов, на 25—40 % выше, чем шлифованных абразивами умеренной твердости.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

По назначению стали для деформирующего инструмента делят на две большие группы: для штампов горячего и холодного деформирования. Внутри этих групп их классифицируют по химическому составу, структуре и свойствам. Наиболее целесообразна классификация, которая определяется условиями эксплуатации деформирующего инструмента и предусматривает деление сталей для штампов горячего и холодного деформирования в соответствии с их основными свойствами.

По этой классификации стали для штампов горячего деформирования разбиты на три группы: стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости; стали повышенной теплостойкости и вязкости; стали высокой теплостойкости. Для сталей этих групп характерно более низкое по сравнению со сталями для штампов холодного деформирования содержание углерода (0,3—0,6 %); это предопределяется повышенными требованиями к ним по вязкости и разгаростойкости.

Стали для тяжелогруженных штампов холодного деформирования делят на три группы: стали повышенной и высокой износостойкости; вторичнотвердеющие стали с высоким сопротивлением смятию; высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью.

Химический состав и назначение сталей для штампов горячего и холодного деформирования в СССР регламентируются ГОСТ 5950—73 «Сталь инструментальная легированная» и техническими условиями. Штамповые стали, применяемые за рубежом, по составу и свойствам близки к соответствующим маркам стали, регламентированным отечественными стандартами.

Стали для штампов горячего деформирования (табл. 3.2). Стали *умеренной теплостойкости и повышенной вязкости* предназначены в основном для молотовых штампов, работающих в условиях ударного нагружения и небольшого разогрева гравюры в процессе штамповки (500—550 °С). Рассматриваемые стали обладают повышенной прокаливаемостью.

По температуре и размерам инструмента, для которого они используются, стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости можно разделить на две подгруппы. К первой из них относят стали 5ХНМ, 5ХНВ, приобретающие после закалки и отпуска при 450—500 °С твердость HRC 43—45. Небольшое содержание в них карбидообразующих элементов — хрома, молибдена, вольфрама — не позволяет получать такую же твердость после более высоких температур отпуска. За рубежом, а иногда и в СССР применяют безникелевую сталь такого типа — 5ХГМ.

Ко второй подгруппе относят стали марок 3Х2МНФ, 4ХМФС и 5Х2МНФ. Из них сталь 4ХМФС обладает более высокой теплостойкостью и прочностью, чем сталь 5ХНМ, но из-за отсутствия никеля обладает неглубокой прокаливаемостью и более чувствительна к концентрации напряжений, чем сталь 5ХНМ. Поэтому ее используют в основном для штампов простой формы и небольших габаритных размеров. Сталь же марки 5Х2МНФ по уровню прокаливаемости может быть использована для крупных молотовых и прессовых штампов. Высокий уровень физико-механических свойств (теплостойкость, ударная вязкость) обеспечивает существенное повышение стойкости изготовленного из нее инструмента.

К сталям умеренной теплостойкости можно отнести и стали марок 7Х3 и 8Х3, чаще используемые для режущего инструмента. Однако из-за низкого уровня механических свойств их применяют в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве для инструмента ГKM и прессов.

К *сталям повышенной теплостойкости и вязкости* относят стали марок 4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС, 3Х3МЗФ и др. (см. табл. 3.2). Из них изготавливают прессовые вставки, инструмент для высадки и выдавливания, инструмент высокоскоростных пневматических молотков и гидравлических прессов. Характерной особенностью этих сталей является комплексное легирование и склонность к дисперсионному твердению при отпуске в интервале температур 500—550 °С. Более высокий уровень легирования (до 2—5 %

Т а б л и ц а 3.2. Химический состав (σ_0) сталей, применяемых для штампов горячего деформирования

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	Другие элементы
-------------	---	----	----	----	---	---	----	----	-----------------

Стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости

5XHM	0,5—0,6	0,5—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	—	—	0,15—0,3	1,4—1,8	—
5XHB	0,5—0,6	0,5—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	0,4—0,7	—	—	1,4—1,8	—
5XHBC	0,5—0,6	0,3—0,6	0,6—0,9	1,3—1,6	0,4 0,7	—	—	0,8—1,2	—
5XGM	0,5—0,6	1,2—1,6	0,25—0,60	0,6—0,9	—	—	0,15—0,3	—	—
4XMΦC	0,37—0,45	0,5—0,8	0,5—0,8	1,5—1,8	—	0,3—0,5	0,9—1,2	—	—
5X2MHΦ	0,46—0,53	0,4—0,7	0,2—0,4	1,5—2,0	—	0,3—0,5	0,8—1,2	1,2—1,6	—
3X2MHΦ	0,27—0,33	0,3—0,6	0,15—0,40	2,0—2,5	—	0,25—0,4	0,4—0,6	1,2—1,6	—

Стали повышенной теплостойкости и вязкости

4X5MΦC	0,32—0,40	0,15—0,40	0,8—1,2	4,5—5,5	—	0,3—0,5	1,2—1,5	—	—
4X5MΦ1C	0,37—0,44	0,15—0,40	0,8—1,2	4,5—5,5	—	0,8—1,1	1,2—1,5	—	—
4X5B2ΦC	0,35—0,45	0,15—0,40	0,8—1,2	4,5—5,5	1,6—2,0	0,6—0,9	—	—	—
4X4BMΦC	0,37—0,44	0,20—0,50	0,6—1,0	3,2—4,0	0,8—1,2	0,6—0,9	1,2—1,5	—	—
4X3BMΦ	0,40—0,48	0,30—0,60	0,6—0,9	2,8—3,5	0,6—1,0	0,6—0,9	0,4—0,6	—	—
4X2B2MΦC	0,42—0,50	0,30—0,60	0,3—0,6	2,0—3,5	1,8—2,4	0,6—0,9	0,8—1,1	—	—
3X3M3Φ	0,27—0,34	0,30—0,50	0,2—0,4	2,8—3,5	—	0,4—0,6	2,5—3,0	—	—

Стали высокой теплостойкости

3X2B8Φ	0,30—0,40	0,15—0,40	0,15—0,40	2,2—2,7	7,5—8,5	0,2—0,5	—	—	—
4X2B5MΦ	0,30—0,40	0,15—0,40	0,15—0,35	2,0—3,0	4,5—5,5	0,6—0,9	0,6—0,9	—	—
5X3B3MΦC	0,45—0,52	0,30—0,60	0,50—0,80	2,5—3,2	3,0—3,6	1,5—1,8	0,8—1,1	—	0,05—0,15 Nb
2X6B8M2K8*	0,22—0,30	0,15—0,40	0,30—0,60	6,5—7,0	7,0—8,0	0,10—0,25	1,8—2,3	—	7,5—8,3 Co

Примечания: 1. Содержание серы и фосфора не превышает 0,030 % каждого элемента; содержание серы в стали после электрошлакового переплава не более 0,015 %.

2. Сталь, отмеченная звездочкой, выпускается по техническим условиям, остальные стали — по ГОСТ 5950—73.

Cr; 2—3 % W и Mo; 1 % V) благоприятно влияет на прочность, прокаливаемость и теплостойкость сталей и дает возможность использовать их для прессовых инструментов, разогревающихся в процессе работы до 620—650 °С. Повышенная ударная вязкость позволяет применять их для небольших молотовых штампов при деформировании сталей и сплавов повышенной прочности. Особенно эффективно использование этих сталей для рабочих вставок. Сталь марки 4Х2В2МФС обладает наименьшей склонностью к разупрочнению, поэтому ее применяют для прессового инструмента, подверженного значительным температурно-силовым нагрузкам.

К *сталлям высокой теплостойкости* относят стали марок 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС и др. (см. табл. 3.2). Для этих сталей характерно высокое содержание вольфрама или вольфрама и молибдена. Раньше наиболее широко применялась сталь марки 3Х2В8Ф. В настоящее время ее потребление уменьшилось; взамен начали применять комплексно-легированные стали марок 5Х3В3МФС и 4Х2В5МФ, обладающие более высокой теплостойкостью. Однако теплостойкость всех трех марок сталей не превышает 650—680 °С; при более высоких температурах они разупрочняются. Дальнейшего увеличения теплостойкости можно достигнуть за счет создания дисперсионно-твердеющих сталей с интерметаллидным или комплексным упрочнением. Такие стали уже применяют в СССР и за рубежом, например сталь 2Х6В8М2К8 (табл. 3.2). Эта сталь сохраняет твердость HRC 38—40 при нагреве до 720—750 °С, обладая при этом достаточно высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью. Стали с интерметаллидным упрочнением наиболее целесообразно применять для матриц горячего прессования, рабочих вставок тяжелонагруженных прессовых штампов и др.

Стали для штампов холодного деформирования (табл. 3.3). Наиболее характерными представителями *сталей повышенной и высокой износостойкости* являются стали типа Х12. Их химический состав приведен в таблице. Для структуры сталей этой группы характерно значительное количество избыточных карбидов, расположенных в виде сетки или строк: это снижает прочность и вязкость, но повышает износостойкость. Дополнительное легирование вольфрамом, молибденом и ванадием улучшает распределение карбидной фазы, расширяет интервал аустенитизации и повышает прочностные свойства. После закалки с 980—1050 °С и отпуска при 160—200 °С твердость этих сталей составляет HRC 60—63. Сталь типа Х12ВМ склонна к вторичному твердению после закалки с 1000—1040 °С; ее твердость после отпуска при 500—520 °С достигает HRC 59—61. Однако ее прочностные характеристики невелики. Пониженные теплостойкость и предел текучести при сжатии ограничивают применение этой группы сталей для тяжелонагруженного инструмента. Основное их назначение — инструменты для вырубки и пробивки высокопрочных материалов, накатки, выдавливания; вставки вытяжных и формовочных штампов, а также многобандажных матриц и корпуса составных пуансонов для выдавливания, эксплуатируемых при удельных нагрузках 1600—1700 МПа.

Таблица 3.3 Химический состав (%) сталей, применяемых для штампов холодного деформирования

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	Ti
<i>Стали повышенной и высокой износостойкости</i>									
X12	2,0—2,2	0,15—0,4	0,15—0,35	11,5—13,0	—	—	—	—	—
X12M	1,45—1,65	0,15—0,4	0,15—0,35	11,0—12,5	—	0,15—0,3	0,4—0,6	—	—
X12BM	2,0—2,2	0,15—0,4	0,2—0,4	11,0—12,5	0,5—0,8	0,15—0,3	0,6—0,9	—	—
X12Ф1-	1,25—1,45	0,15—0,4	0,15—0,35	11,0—12,5	—	0,7—0,9	—	—	—
X6BФ	1,05—1,15	0,15—0,4	0,15—0,35	5,5—6,5	1,1—1,5	0,5—0,8	—	—	—
8X6HФТ	0,8—0,9	0,15—0,4	0,15—0,35	5,0—6,0	—	0,3—0,5	—	0,9—1,3	0,05—0,15
9X5BФ	0,85—1,0	0,15—0,4	0,15—0,4	4,5—5,5	0,8—1,2	0,15—0,3	—	—	—
X12Ф4М*	2,0—2,2	0,20—0,4	0,2—0,4	12,0—13,5	—	3,4—4,0	0,5—0,8	—	—
X6Ф4М*	1,7—1,85	0,15—0,4	0,15—0,4	5,7—6,5	—	3,5—4,0	0,5—1,0	—	—
<i>Вторично твердеющие стали с высоким сопротивлением смятию</i>									
8X4B3M3Ф2*	0,75—0,85	0,15—0,4	0,15—0,4	3,5—4,5	2,5—3,2	1,9—2,5	2,5—3,0	—	—
8X4B2C2MФ*	0,8—0,9	0,25—0,5	1,6—2,0	4,2—4,9	1,8—2,3	1,0—1,4	0,8—1,0	—	—
11X4B2C2Ф3М*	1,05—1,15	0,2—0,5	1,4—1,8	3,5—4,2	2,0—2,7	2,3—2,8	0,3—0,5	—	—
X5C4B2Ф2HМ*	0,98—1,13	0,3—0,5	3,35—3,95	4,2—5,0	1,8—2,3	1,9—2,4	0,8—1,1	0,3—0,6	—
<i>Высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью</i>									
7XГ2ВМ	0,68—0,76	1,8—2,3	0,2—0,4	1,5—1,8	0,5—0,9	0,1—0,25	0,5—0,8	—	—
6X6B3MФC	0,5—0,6	0,15—0,4	0,6—0,9	5,5—6,5	2,5—3,2	0,5—0,8	0,6—0,9	—	—
6XB2C	0,55—0,65	0,15—0,4	0,5—0,8	1,0—1,3	2,2—2,7	—	—	—	—
5XB2C	0,45—0,55	0,15—0,4	0,55—0,8	1,0—1,3	2,0—2,5	—	—	—	—
7XГHМ*	0,67—0,74	1,4—1,8	0,2—0,4	1,2—1,5	—	0,1—0,2	0,5—0,8	0,8—1,2	—
6X4M2ФC*	0,57—0,65	0,15—0,4	0,6—0,9	3,8—4,4	—	0,6—0,9	2,0—2,4	—	—

Примечания: 1. Содержание серы и фосфора не превышает 0,03 % каждого элемента; содержание серы в стали после электрошлакового переплава не более 0,015 %.

2. Стали, отмеченные звездочкой, выпускаются по техническим условиям, остальные стали — по ГОСТ 5950—73.

К этой же группе относятся стали с 5—6 % Сг и небольшим количеством молибдена, вольфрама и ванадия, содержащие 0,8—1,1 % С; из этих сталей наиболее широко используют сталь Х6ВФ. Из-за меньшего содержания углерода и карбидообразующих элементов избыточные карбиды в этих сталях распределены более равномерно; это способствует повышению прочности и ударной вязкости, однако теплостойкость и износостойкость снижаются (по сравнению со сталями типа Х12).

К числу *вторично твердеющих сталей с высоким сопротивлением смятию* относят стали марок 8Х4В2С2МФ, 11Х4В2С2Ф3М и др. (см. табл. 3. 3). Их применяют в основном для инструмента холодного деформирования, испытывающего значительные удельные силы и подвергающегося разогреву (до 400—450 °С) в процессе эксплуатации (операции выдавливания, отрезки, высадки и калибровки). Стали этой группы являются комплексно-легированными, характеризуются пониженной карбидной неоднородностью и повышенной прочностью. Они склонны к вторичному твердению при отпуске в области температур 520—560 °С, что предопределяет их повышенную теплостойкость; карбиды, выделившиеся в процессе вторичного твердения, а также избыточные карбиды обеспечивают сталям этой группы повышенную износостойкость. Предел прочности вторично твердеющих сталей после окончательной термической обработки достигает 2500 МПа, ударная вязкость 0,3—0,4 МДж/м², предел текучести при сжатии 2300 МПа.

Высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью можно разбить на две подгруппы. К первой из них относятся стали марок 7ХГ2ВМ, 7ХГНМ и др. (см. табл. 3. 3), содержащие около 2 % Мп и небольшие количества хрома, молибдена (вольфрама), ванадия. Характерной особенностью сталей этой подгруппы является способность принимать закалку на воздухе и сохранять повышенное количество остаточного аустенита. Поэтому штампы холодного деформирования из сталей этого типа получают минимальную деформацию при закалке и малочувствительны к надрезу. Их карбидная неоднородность невелика. Они имеют повышенную прокаливаемость и малосклонны к обезуглероживанию при термической обработке. Однако теплостойкость этих сталей невелика. Высокую твердость (HRC 57—59) они приобретают после отпуска при 170—200 °С. Основное назначение марганцовистых сталей этой подгруппы — изготовление инструмента для прецизионной вырубки, пробивки, вытяжки и формовки изделий из низкоуглеродистых сталей и цветных сплавов.

Ко второй подгруппе относят марки 6Х6В3МФС, 6Х4М2ФС и др. (см. табл. 3. 3). Они склонны к вторичному твердению; их теплостойкость и сопротивление смятию значительно выше, чем у сталей первой подгруппы. Это позволяет использовать их для изготовления даже такого тяжелонагруженного инструмента, как штампы ударного выдавливания, высадки и т. д.

Иногда в СССР и за рубежом для тяжелонагруженного инструмента холодного и горячего деформирования применяют быстроре-

жущие стали. Из быстрорежущих сталей наиболее часто применяют марки Р6М5К5, Р6М5, Р12; реже используют стали марок Р18 и Р18К5Ф2. Недостаток быстрорежущих сталей — наличие значительного количества крупных избыточных карбидов, которые, являясь эффективными концентраторами напряжений, способствуют существенному охрупчиванию сталей даже при статическом нагружении. Отрицательное влияние избыточных карбидов на свойства быстрорежущих сталей особенно сильно проявляется при циклических (пульсирующих) нагрузках.

Помимо рассмотренной классификации штамповых сталей, предусматривающей деление их на группы в соответствии с основными свойствами, целесообразно пользоваться классификацией по химическому составу и структуре.

Классификация материалов для штампов горячего деформирования по химическому составу и структуре (рис. 3. 4). В ней материалы разделены по структуре (стали — после охлаждения на воздухе) на шесть групп. В каждой группе выделены подгруппы сталей и сплавов, объединенные по химическому составу общими признаками.

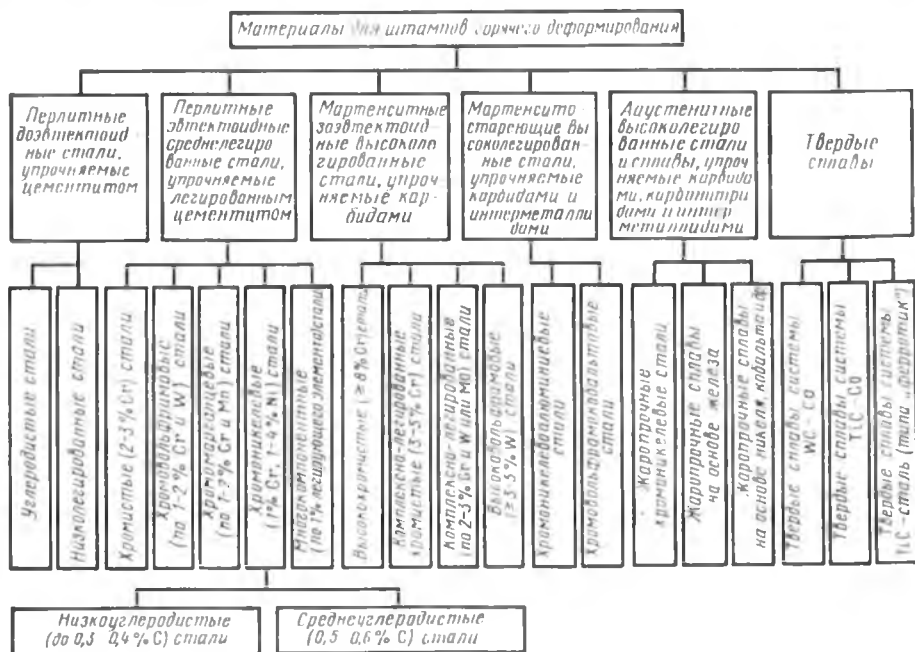


Рис. 3.4. Классификация материалов для штампов горячего деформирования по химическому составу и структуре

Первая группа материалов для штампов включает в себя углеродистые и низколегированные стали. К углеродистым относятся стали марок У7 и У8, к низколегированным — стали марок 4ХС, 6ХС и различные конструкционные стали. Они содержат 0,4—

0,6 % С и до 1—2 % легирующих элементов (чаще всего хрома, кремния, марганца, реже никеля, молибдена, ванадия). Аналогичные углеродистые и низколегированные стали для штампов применяют и за рубежом. Углеродистые и низколегированные штамповые стали по структуре являются доэвтектоидными; при отпуске из мартенсита выделяется цементит Fe_3C . Чаще всего их отпускают при температуре 300—400 °С на твердость не выше HRC 50—52. Как правило, углеродистые стали применяют для мелкого штампового инструмента, а низколегированные — для крупных штампов.

Вторая группа включает среднелегированные штамповые стали. Они содержат от 3 до 6 % легирующих элементов. Структура среднелегированных штамповых сталей в основном эвтектоидная; при отпуске из мартенсита выделяются легированный цементит $(\text{FeM})_3\text{C}$ и реже — карбиды хрома Cr_7C_3 или Cr_{23}C_6 (в общем виде M_7C_3 или M_{23}C_6). Выделение легированного цементита характерно для отпуски на повышенную твердость (выше HRC 50) при температуре не более 450 °С; специальные карбиды выделяются при отпуске на более низкую твердость (не более HRC 40—45) при температурах 500—650 °С. Температура закалки стали рассматриваемой группы составляет 850—950 °С.

По содержанию легирующих элементов стали второй группы можно разделить на пять подгрупп:

хромистые стали, содержащие 2—3 % хрома и небольшое количество кремния, марганца, молибдена, ванадия; к ним относят стали марок 7Х3, 5Х3ГС, 5Х3СМ, 5Х2МФ, 5Х2СФ, 5Х2ГФ, 4Х3ВФ;

хромовольфрамовые стали марок 4ХВ2С, 5ХВ2С и 6ХВ2С, входящие в ГОСТ 5950—73; зарубежные стали аналогичного состава и назначения обычно дополнительно легируют ванадием в количестве 0,1—0,2 %;

хромомарганцевые стали, содержащие по 1—2 % хрома и марганца и дополнительно кремний или небольшие количества сильных карбидообразующих элементов; молибдена, вольфрама, ванадия; к ним относят стали марок 5ХГМ, 6ХВГ, 5ХГС, 6ХГСФ, 4Х2Г2М; 30Х2Г2М1Ф1; хромомарганцевые стали издавна служат дешевыми заменителями хромоникелевых сталей;

хромоникелевые стали; их делят на среднеуглеродистые: 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХНТ, 5ХНС, 5ХНМ2, 5ХН4М, 6ХГН2МФ, 6ХГН2МФА, 45ХНМФА и низкоуглеродистые: 27Х2Н2МВФ, 3Х2Н2ВМФ, 30Х2МФН, 30Х2М1Ф1Н, 30Х2М1Ф1Н3, 38Х2Н2М;

многокомпонентные стали, содержащие около 1—2 % хрома, по 1 % никеля или марганца и кремния и дополнительно легированные небольшими количествами вольфрама, молибдена и ванадия, а также ниобия, церия, бора или алюминия; к ним относятся стали марок 4ХМФС, 5ХГСВФ, 5ХГСМФ, 4Х2ГСВМФ, 4ХГСМФБР, 4ХНМФЦР, 5Х2ВМНФ, 5ХМВФС. Эти стали появились в последнее время в качестве заменителей хромоникелевых.

Хромистые и хромомарганцевые стали являются наиболее дешевыми. Значительно дороже низкоуглеродистые хромоникелевые

и многокомпонентные стали. Температуры закалки и отпуска многокомпонентных сталей намного выше, чем соответствующие температуры термической обработки хромистых и хромоникелевых сталей.

Третья группа включает высоколегированные штамповые стали, содержащие от 7 до 15 % легирующих элементов. Как правило, это заэвтектоидные стали; при их отпуске выделяются специальные карбиды типа M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_6C , MC . Температура отпуска этих сталей на твердость HRC 45—55 составляет 550—650 °C. Все марки стали третьей группы закалывают с высоких температур (от 1000 до 1200 °C); для них характерно дисперсионное твердение.

По особенностям химического состава стали третьей группы можно разделить на четыре подгруппы:

высокохромистые стали, содержащие свыше 8 % хрома и 1—2 % других легирующих элементов. К ним относятся марки 4X8B2 и 3X10B2Ф; близкие состав и свойства имеют применяющиеся для пресс-форм литья под давлением окалиностойкие стали марок 30X13 и 40X13;

комплексно-легированные хромистые стали с содержанием хрома свыше 3 % и по 1—2 % других сильных карбидообразующих элементов, а также кремния. К ним относятся стали марок 4X5МФС, 4X5МФ1С, 4X5В2ФС, 4X4ВМФС, 4X3ВМФ, 4X3ВМФС, 3X4В2М2Ф и 4X3СВМФЮ. В СССР для штампов горячего деформирования эти стали применяют с недавнего времени;

комплексно-легированные стали с содержанием хрома до 3 % и таким же содержанием вольфрама или молибдена, а также 1 % кремния и ванадия; к ним относят стали марок 3X3М3Ф, 4X2В2МФС, 4X3В2М2Ф2;

высоковольфрамовые стали, содержащие свыше 3 % вольфрама, такое же или пониженное количество хрома, а также молибден, ванадий и изредка кремний или кобальт. К ним относятся стали марок 5X3В3МФС, 4X5В4МФС, 4X2В5ФМ, 3X2В8Ф, 3XВ4СФ, 5X4СВ4МФ, 3X2В5Ф, 4X3В5М3Ф, 4X3В8Ф, 3X2В8К2Ф и 6X4В9МФ. К этой же подгруппе можно отнести быстрорежущие стали различных марок, иногда применяемые для тяжелонагруженного штампового инструмента горячего деформирования. Как правило, для штампов применяют модернизированные быстрорежущие стали, у которых для уменьшения стоимости и повышения пластических свойств снижают содержание углерода и вольфрама. За рубежом также применяют стали типа быстрорежущих с пониженным содержанием углерода, иногда используют стали с высоким содержанием хрома и вольфрама.

С увеличением содержания в стали вольфрама, молибдена и ванадия карбиды становятся более устойчивыми против растворения при нагреве под закалку и коагуляции при отпуске. Соответственно этому повышаются температуры закалки и отпуска и теплоустойчивость сталей. Это и определяет различие между рассматриваемыми подгруппами штамповой стали.

Четвертая группа — высоколегированные стали со смешанным карбидным и интерметаллидным упрочнением разработаны в последнее время. Наиболее перспективными из них являются хромовольфрамokoбальтовые стали марок 2X8B8M2K8 и 2X8B8M2K5, упрочняемые за счет выделения при отпуске карбидов M_6C и интерметаллидов M_7^I M_6^{II} . Температура закалки этих сталей составляет 1180—1200 °C, а температура отпуска на твердость HRC 50—52 достигает 740—760 °C. Это показывает, что теплостойкость хромовольфрамokoбальтовых сталей на 60—100 °C превышает теплостойкость всех ранее рассмотренных сталей.

Хромоникелевоалюминиевые стали (например, 3X2I18MFCIO), дополнительно содержащие молибден, ванадий и кремний, упрочняются при отпуске как за счет выделения карбидов на основе хрома, молибдена и ванадия, так и за счет выделения интерметаллидов типа (NiFe)Al, когерентно связанных с матрицей. Их теплостойкость находится на уровне теплостойкости комплексно-легированных сталей третьей группы; действительно, при температуре отпуска 600—620 °C и выше твердость этих сталей снижается до HRC 42—45. В то же время хромоникелевоалюминиевые стали отличаются благоприятным сочетанием высокой прочности ($\sigma_b = 1700 \div 2000$ МПа) и удовлетворительной пластичности и вязкости ($\psi = 35 \div 40$ %; $KCU = 0,35 \div 0,45$ МДж/м²) при твердости HRC 54—52.

Пятая группа — жаропрочные аустенитные стали и сплавы, изредка применяемые в качестве материала для изготовления тяжело нагруженных штампов. Стали этой группы характеризуются аустенитной структурой; упрочняющими фазами являются карбиды, карбонитриды и интерметаллиды.

Шестая группа — твердые сплавы. Особенностью твердых сплавов являются высокие теплостойкость и износостойкость, но очень низкие прочность при неравномерном нагружении и сопротивление хрупкому разрушению. Поэтому их применение ограничивается штампами простой конфигурации и небольших размеров, не испытывающими резких механических и тепловых воздействий. Более широкому распространению твердых сплавов препятствует также их высокая стоимость и неудовлетворительная обрабатываемость.

3. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Стали для молотовых штампов. Для молотовых штампов наиболее широко применяют среднелегированные хромоникелевые стали с повышенным (до 0,6 %) содержанием углерода; при этом чаще всего используют стали марок 5XHM, 5XHB, 5XHBC. Высокие прокаливаемость, сопротивление хрупкому разрушению и прочность (при средней твердости HRC 40—45) хромоникелевых сталей позволяют применять их для средних и крупных цельных молотовых штампов.

Дешевыми заменителями хромоникелевых сталей являются хромомарганцевые стали марок 5ХГМ, 6ХВГ и т. п. Из-за меньшей теплостойкости и более низких технологических свойств (низкой устойчивости против перегрева, прокаливаемости, повышенной склонности к отпускной хрупкости) хромомарганцевые стали следует применять для мелких и средних молотовых штампов (сечением $\leq 300 \times 300$ мм).

Учитывая пониженные теплостойкость и особенно износостойкость хромоникелевых и хромомарганцевых сталей в последнее время для тяжелонагруженных молотовых штампов предложены новые стали с повышенным содержанием хрома, дополнительно легированные молибденом, кремнием или ванадием, например стали марок 5ХЗСМ, 5Х2МФ и т. п., а также среднелегированные многокомпонентные стали марок 4ХМФС, 5ХГСВФ, 5ХГСМФ, 5Х2ВМНФ и др. Их следует применять для цельных молотовых штампов массой не более 5 т со сравнительно простой гравюрой. Это связано с тем, что наряду с повышенными теплостойкостью, горячей прочностью и износостойкостью многокомпонентные стали имеют худшие технологические свойства: требуется более высокий нагрев при закалке, понижены прокаливаемость и обрабатываемость резанием.

Для мелких цельных молотовых штампов при штамповке поковок из труднодеформируемых материалов следует применять высоколегированную хромистую сталь марки 4ХЗВМФ, а для вставок средних и крупных молотовых штампов — стали марок 4ХЗВМФ, 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С и 4Х4ВМФС. Эти стали после термической обработки на высокую твердость (HRC 45—50) отличаются высокими теплостойкостью, прочностью и сопротивлением хрупкому разрушению. Они прокаливаются полностью в сечении до 200 мм, но имеют пониженную обрабатываемость и закаливаются с высоких температур. Для этой цели эффективно также применение многокомпонентных сталей марок 4ХМФС, 5ХГСВФ, 5Х2ВМНФ и т. п.

Вставки для сборных молотовых штампов, предназначенные для штамповки поковок из труднодеформируемых материалов, следует изготавливать из комплексно-легированных хромистых сталей, а вставки, предназначенные для штамповки поковок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, алюминиевых и медных сплавов, — из хромоникелевых, хромомарганцевых и среднелегированных многокомпонентных сталей марок 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, 4ХМФС и т. п. Только вкладыши: прошивки и наметки — во всех случаях предпочтительнее изготавливать из высоколегированной стали марок 4Х5В2ФС, 4Х4МВФС и даже 4Х2В5ФМ или Р18.

Блоки для вставок, эксплуатируемые на молотах малой мощности, следует изготавливать из конструкционной стали марок 40Х или 45Х, а на молотах большой мощности — из хромоникелевых и хромомарганцевых сталей. Это правило относится к блокам, не имеющим контакта с деформируемой поковкой. Те же блоки, в которых размещается часть гравюры черногового или чистового ручья,

следует изготавливать из таких же марок штамповой стали, какие были рекомендованы выше для цельных молотовых штампов.

Подкладные штампы, как правило, изготавливают из низколегированных конструкционных или углеродистых инструментальных сталей марок 40Х, 65Г, У7 и У8. Для изготовления пуансонов, подверженных значительному тепловому воздействию, следует применять среднелегированные стали марок 5ХНМ, 5ХНВ или 5ХГМ. Вспомогательные крепежные детали молотовых штампов: штамподержатели, клинья, шпонки и т. п. — изготавливают из конструкционной стали марок 45 и 40Х.

Стали для штампов высокоскоростных молотов. Хромоникелевые и подобные им стали следует применять лишь для малонагруженных штампов при штамповке осадкой алюминиевых сплавов. Для крупных и малонагруженных пуансонов, матриц и различных вставок целесообразно использовать высоколегированные стали марок 4ХЗВМФ, 4Х5МФС и 4Х5МФ1С, а более мелкого и ответственного сменного инструмента — стали марок 4Х5В2ФС, 4Х4МВФС. Для штампов высокоскоростных молотов можно применять и высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ или 5ХЗВ3МФС, отличающиеся повышенной теплостойкостью и износостойкостью, но низким сопротивлением хрупкому разрушению. Однако применять их следует лишь для матриц и вставок простой формы, подверженных очень высокому нагреву. При этом для различных обойм, подкладных плит и другого вспомогательного инструмента используют конструкционные стали марок 45 и 40Х, хромоникелевые стали марок 5ХНВ, 5ХНМ и т. п. На рис. 3.5 указаны марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа выдавливания пазовой фрезы на высокоскоростном молоте.

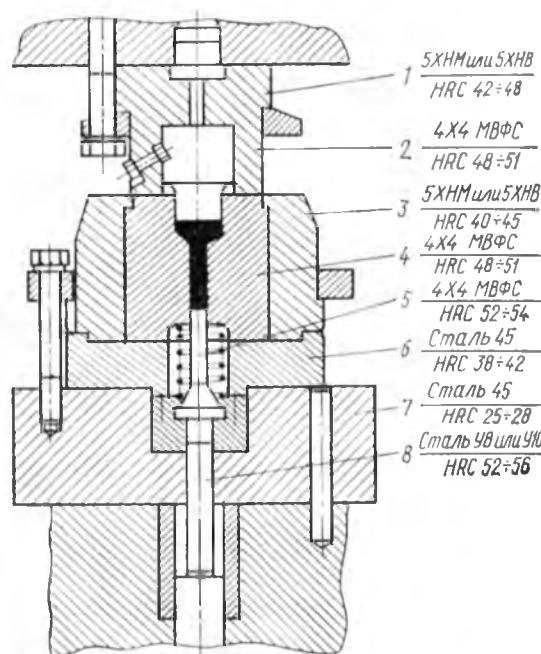


Рис. 3.5. Марки стали и нормы твердости основных деталей штампа для выдавливания поковок пазовой фрезы из стали Р18 на высокоскоростном молоте:

1 — блок пуансонов; 2 — пуансон; 3 — обойма матрицы; 4 — матрица; 5 — выталкиватель; 6 — переходная плита; 7 — опорная плита; 8 — толкатель

молоте. Однако применять их следует лишь для матриц и вставок простой формы, подверженных очень высокому нагреву. При этом для различных обойм, подкладных плит и другого вспомогательного инструмента используют конструкционные стали марок 45 и 40Х, хромоникелевые стали марок 5ХНВ, 5ХНМ и т. п. На рис. 3.5 указаны марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа выдавливания пазовой фрезы на высокоскоростном молоте.

Стали, применяемые для штампов высокоскоростных молотов в ФРГ, показаны на рис. 3.6, а, б (указаны отечественные аналоги). Для инструмента, контактирующего с поковкой, применяют вы-

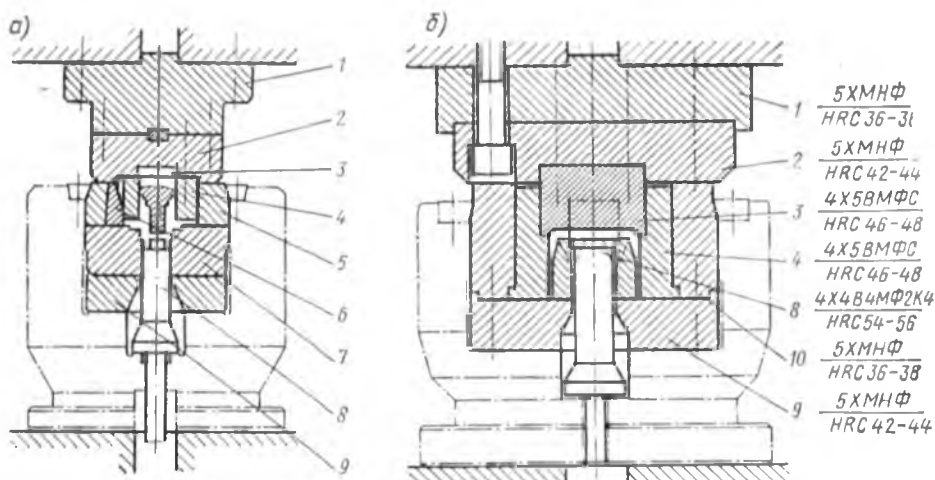


Рис. 3.6. Рекомендуемые одной из фирм ФРГ марки штамповой стали и нормы твердости основных деталей штампа для выдавливания (а) и для закрытой осадки (б) на высокоскоростном молоте:

1 — верхняя плита; 2 — верхняя опора; 3 — пуансон; 4 — верхняя формующая вставка; 5 — матричная вставка; 6 — вкладыш; 7 — нижняя формующая вставка; 8 — выталкиватель; 9 — нижняя опора; 10 — бандаж

соколегированные стали; хромоникелевые стали используют лишь для подкладных плит и обойм.

Стали для высадочных штампов прессов и ГKM. Дешевыми марками сталей для высадочных штампов являются хромовольфрамовые марок 4ХВ2С, 5ХВ2С, хромистые марок 7Х3, 8Х3. Эти стали имеют достаточное сопротивление хрупкому разрушению и высокую разгаростойкость при применении водяного охлаждения. Однако они эффективны лишь для ограниченного круга высадочных штампов: 4ХВ2С, 5ХВ2С — для мелких пуансонов и матриц горячештамповочных автоматов, 7Х3, 8Х3 — для крупных наборных пуансонов, цельных зажимных и формовочных полуматриц ГKM.

Для высадочных штампов более эффективно применение сталей марок 4Х5МФС, 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС и 3Х3МЗФ; разгаростойкость их выше, чем у других высоколегированных сталей. При этом стали марок 4Х5МФС и 4Х3ВМФ следует применять для крупного, а стали марок 4Х4ВМФС и 3Х3МЗФ — для мелкого высадочного инструмента. Для вставок зажимных и формовочных матриц, находящихся в длительном контакте с нагретым металлом, целесообразно использовать высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС, а при высадке медных сплавов — 3Х2В8Ф.

Стали для штампов радиально-обжимных машин. Бойки радиально-обжимных машин изготавливают из хромоникелевых (5ХНВ, 5ХНМ) или хромистых (7Х3) сталей. Для обработки труднодеформируемых материалов следует применять наплавку их твердыми сплавами; при этом оправки целесообразно изготавливать из быстро-

режущих сталей. Для этой же цели эффективно применение сталей марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС и 4Х4ВМФС (бойки), 4Х4ВМФС, 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС (оправки). При обработке титановых и никелевых сплавов хорошо зарекомендовало себя поверхностное упрочнение бойков и оправок радиально-обжимных машин азотированием.

Стали для вальцовочных штампов. Валки для профилирования мелких заготовок: ключей, напильников и др.—изготавливают из углеродистых, а также среднелегированных хромистых и хромоникелевых сталей (У7, 7Х3, 5ХНВ и т. п.). Однако их стойкость невелика, поэтому необходимо применять поверхностное упрочнение (наплавку или борирование) или же высоколегированные стали марок 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС и 4Х2СВ2МФ. Стали марок 4Х4ВМФС и 4Х2СВ2МФ являются лучшими для изготовления штамповочных валков в том случае, когда на вальцах окончательно оформляют размеры поковок (штамповка вальцеванием). Валки для вальцов поперечно-клиновой вальцовки вследствие их сложной конструкции следует изготавливать литыми из сталей марок 5ХНМ, 5ХНВ и т. п.

Стали для накатных и раскатных штампов. Для опорных и нажимных валков следует применять те же стали, что и для вальцовочных валков, для накатников и матриц — высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ, 5Х3В3МФС и т. п., а также быстрорежущие стали, обладающие высокой теплостойкостью и прочностью при нагреве.

Стали для открытых ковочных штампов гидравлических прессов и КГШП. Для крупных прессовых вставок, особенно при штамповке легких сплавов и малоуглеродистых сталей, широко применяют хромоникелевые и хромомарганцевые стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГСВФ и т. п. Хорошие результаты получены при использовании для открытых прессовых штампов новых среднелегированных штамповых сталей марок 4ХМФС и 5Х2ВМНФ, а также высоколегированных штамповых сталей марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС и др. Штампы из этих сталей обладают высокой стойкостью также при штамповке поковок из легированных конструкционных сталей и титановых сплавов.

Для мелких прессовых штампов применяют в основном высоколегированные стали марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ и 4Х4ВМФС; при штамповке поковок из труднодеформируемых материалов — высоковольфрамовые стали марок 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС. Первую группу сталей следует применять при относительно легких условиях работы для штамповых вставок сложной конфигурации, а вторую — при повышенных нагрузках и износе для более простых прессовых вставок. Применение дефицитной стали марки 3Х2В8Ф целесообразно только для изготовления штампов горячей объемной штамповки поковок из меди и ее сплавов.

Стали для закрытых штампов и штампов выдавливания КГШП. На первой стадии внедрения закрытой объемной штамповки и выдавливания (в том числе в разъемных матрицах) в качестве ос-

новых марок штамповых сталей применяли 5ХНВ (для легких сплавов), 3Х2В8Ф (для конструкционных сталей и медных сплавов), а также быстрорежущие стали марок Р18, Р12, Р6М5 и Р6МЗ (в особо тяжелых условиях работы: при высоких степенях деформации, при полугорячем выдавливании и т. п.). Для закрытых штампов мощных гидравлических прессов, находящихся в очень длительном контакте с поковкой, применяют даже малоуглеродистые конструкционные стали марок 15ХГС и 14ХНВФ, не склонные к закалке при применении водяного охлаждения.

Так же как и при открытой штамповке поковок из труднодеформируемых материалов на прессах, при закрытой штамповке и выдавливании высокую стойкость штампов обеспечивают за счет применения высоколегированных сталей марок 4Х4ВМФС, 3Х3МЗФ, 4Х2В5ФМ и 5Х3ВЗМФС. Для повышения износостойкости, теплоустойчивости и прочности гравюры матриц, матричных вставок и пуансонов, имеющих полости, в которые выдавливается деформируемый металл, следует применять химико-термическую обработку (азотирование). Матрицы и матричные вставки простой конфигурации можно изготавливать из твердых сплавов или упрочнять методом наплавки.

Эти штамповые материалы и методы поверхностного упрочнения следует применять для таких формообразующих деталей закрытых штампов и штампов выдавливания, как пуансоны, прошивники, зубчатые вкладыши, вставки матриц. Для менее ответственных

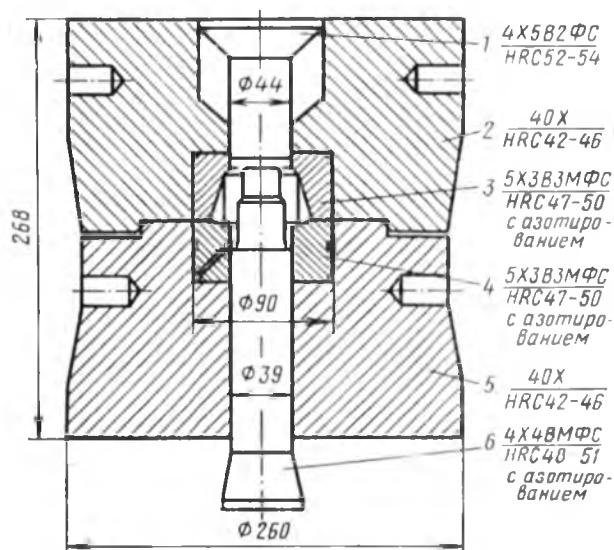


Рис. 3.7. Марки стали и нормы твердости основных деталей штампа КГШП для выдавливания в разъемных матрицах поковок типа стакана с ребрами:

1 — выталкиватель; 2, 5 — биндажи; 3 — верхняя полуматрица; 4 — нижняя полуматрица; 6 — пуансон

деталей таких штампов можно применять более дешевые стали марок 4ХМФС, 4ХЗВМФ и 4Х5В2ФС, а для крепежных деталей — даже конструкционные стали марок 40Х, 30ХГСА, 45 и т. п.

На рис. 3. 7 указаны марки стали и нормы твердости основных деталей штампа для выдавливания в разъемных матрицах поковок типа стакана с ребрами.

В наиболее тяжелых температурно-силовых условиях эксплуатируются штампы полугорячего выдавливания стальных поковок на кривошипных прессах. Даже применение быстрорежущих сталей для изготовления пуансонов и матриц не обеспечивает их удовлетворительной стойкости. За счет применения сталей марок 4Х4ВМФС и 5ХЗВЗМФС с азотированием или наплавки электродами ОЗИ-3 можно повысить стойкость пуансонов и матриц в 1,5—2 раза (по сравнению со стойкостью пуансонов и матриц из быстрорежущей стали). На рис. 3. 8 указаны марки стали и нормы твердости основных деталей штампа

для полугорячего выдавливания поковок торцовых гаечных ключей из стали 40Х.

Стали для штампов выдавливания гидравлических прессов. Контейнеры, их наружные и внутренние втулки при выдавливании цинковых и свинцовых сплавов изготавливают из хромоникелевых сталей с повышенным содержанием углерода: 5ХНМ и 5ХНВ; при выдавливании легких и медных сплавов — из хромоникелевых сталей с пониженным содержанием углерода: 27Х2Н2МВФ, 3Х2Н2ВМФ, 30Х2М1Ф1Н и т. п. Вторую группу сталей следует также применять для наружных втулок контейнеров, пред-

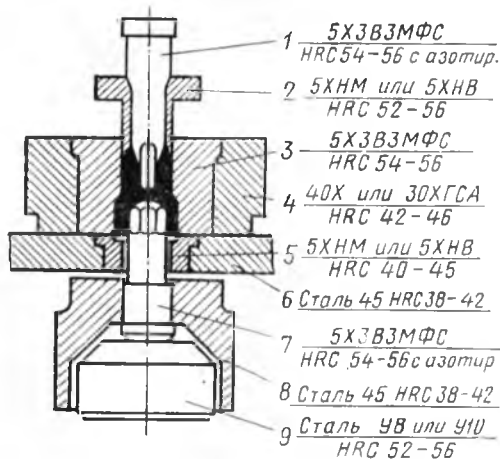


Рис. 3.8. Марки стали и нормы твердости основных деталей штампа КГШП для полугорячего выдавливания поковки торцового гаечного ключа из стали 40Х:

1 — пуансон верхний; 2 — выталкиватель; 3 — матричная вставка; 4 — матрица (бандаж); 5 — втулка съемника; 6 — плита съемника; 7 — пуансон нижний; 8 — кольцо нажимное; 9 — опора

назначенных для выдавливания медных сплавов, сталей и труднодеформируемых металлов и сплавов; для внутренних втулок целесообразно использовать высоколегированные штамповые стали марок 4Х5В2ФС, 4ХЗВМФ, 4Х4МВФС (крупные слитки) и 4Х2В5ФМ, 3Х2В8Ф, 5ХЗВЗМФС (мелкие слитки).

Матрицы для выдавливания прутков и труб из цинковых и свинцовых сплавов изготавливают из многокомпонентной стали марки 4Х2ГМФС, а для выдавливания профилей — из хромовольфрамовых сталей марок 4ХВ2С или 5ХВ2С. Эти же стали, а также сталь марки 3ХЗМЗФ следует применять и для матриц выдавливания лег-

ких сплавов магния и алюминия. Для выдавливания профилей и труб из медных сплавов, углеродистых и легированных сталей лучшими являются матрицы из высоколегированных сталей марок 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС и 3Х2В8Ф. Целесообразно в ряде случаев при тяжелых условиях работы использовать для матриц аустенитную сталь марки 5Х13Н13МФС и твердые сплавы марок ВК8, ВК10, ВК15 и ВК20. Матрицы для выдавливания профилей из труднодеформируемых сплавов и тугоплавких металлов следует изготавливать из аустенитных никелевых сплавов ЖС-3 и ЖС-6 или керамического сплава 22ХС.

Крупные иглы (диаметр более 40 мм) для выдавливания труб и полых профилей изготавливают из сталей марок 4ХВ2С, 3ХВ4СФ, 4Х5В2МФС и т. п., а мелкие (диаметр менее 40 мм) — из высоковольфрамовых сталей марок 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ и т. п. Для игл весьма малых размеров применяют аустенитные стали и сплавы. За рубежом для игл применяют стали с повышенным содержанием хрома типа 3Х5ВМФС или 4Х5МФ1С (водяное охлаждение) или высоковольфрамовые стали типа 3Х3В10Ф (воздушное охлаждение).

Для прошивного инструмента гидравлических прессов, испытывающего в процессе эксплуатации большие тепловые нагрузки, следует применять теплостойкие высоковольфрамовые стали марок 5Х3В3МФС, 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф (без водяного охлаждения) или высоколегированные хромистые стали марок 4Х3ВМФС, 4Х4ВМФС и 4Х5В2ФС (с водяным охлаждением).

Пресс-шайбы чаще всего изготавливают из высоковольфрамовой стали марки 3Х2В8Ф; при более легких условиях работы и применении водяного охлаждения применяют стали марок 4ХВ2С, 4Х5В2ФС и т. п. Шплинтоны, или пресс-штампели, изготавливают из сталей марок 7Х3, 4ХВ2С, 5ХНМ.

Стали для обрезных, отрезных и прошивных или пробивных штампов. Матрицы, режущие и толкающие пуансоны обрезных и отрезных штампов, а также прошивные и пробивные пуансоны изготавливают из хромистой среднелегированной стали марок 7Х3 и 8Х3. Реже для этой цели применяют стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 4ХВ2С, 4ХС или 6ХС. Матрицы, отрезные ножи и пуансоны, у которых режущую кромку наплавляют для повышения износостойкости, изготавливают из углеродистой стали 45, а матрицы для прошивки и пробивки отверстий, которые служат только для размещения поковки, — чаще всего из легированной конструкционной стали марки 40Х. Указанные рекомендации относятся к операциям горячей обрезки облоя, прошивки или пробивки отверстий, отрезки заготовок и готовых поволоков от прутка на КГШП и ГКМ.

Стали для штампов горячей правки и калибровки. Цельные правочные штампы паровоздушных молотов и винтовых пресс-молотов изготавливают из среднелегированной стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГВ и т. п. Для правки поволоков из труднодеформируемых материалов следует применять сборные штампы со вставками, изготовленными из высоколегированных сталей марок

4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС и 4Х4ВМФС. Правочные и калибровочные прессы вставки изготовляют из таких же сталей. Для правки и калибровки на прессах поковок из цветных сплавов и углеродистых сталей можно применять штампы из сталей марок 7ХЗ, 8ХЗ и т. п.; для правки и калибровки на прессах поковок из труднодеформируемых материалов допустимо помимо указанных сталей использовать стали, обычно применяемые для штампов холодной объемной штамповки (марки Х6ВФ, Х12М и Х12Ф1).

Стали для штампов жидкой и изотермической штамповки, низкотемпературной термомеханической обработки. Для штампов жидкой штамповки легких сплавов следует применять стали марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФС и 4Х5МФ1С, а для штампов жидкой штамповки медных сплавов — стали марок 4Х4ВМФС и 3Х2В8Ф. Штампы жидкой штамповки углеродистых и легированных сталей изготовляют из различных материалов. В условиях мелкосерийного производства оправдывает себя применение малоуглеродистой стали марок СтЗ, 10, 20; при штамповке более крупных серий применяют теплостойкие высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф, аустенитные стали и сплавы, а также наплавку рабочей поверхности штампов. Аустенитные сплавы марок ЖС-3 и ЖС-6 или твердые сплавы применяют также для инструмента изотермической штамповки.

Для матриц штампов низкотемпературной термомеханической обработки лучшими являются быстрорежущие стали марок Р12, Р18 и высоковольфрамовые стали марок 5Х3ВЗМФС, 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф с азотированием. Из этих же сталей изготовляют пуансоны (без поверхностного упрочнения); для изготовления бандажей, длительно эксплуатируемых при температурах 450—500 °С, следует применять стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС или 4Х4ВМФС.

Стали для штампов холодного деформирования. Из сталей повышенной и высокой износостойкости изготовляют широкую группу инструментов для холодного деформирования. Так, стали Х6ВФ, 9Х5ВФ, 8Х6НФТ используют для матриц и пуансонов холодного выдавливания, работающих при давлениях до 1400—1600 МПа. Стали типа Х12 применяют для вырубных штампов повышенной точности и сложной конфигурации, тяжело нагруженных чеканочных, калибровочных и высадочных инструментов, а также пластин для армирования чугунных штампов листовой штамповки. Эти стали могут быть использованы и для штамповых инструментов холодного выдавливания, работающих при давлениях до 1500—1700 МПа. Кроме того, из стали марки Х12Ф4М изготовляют волоочильные и калибровочные кольца, а из стали Х6Ф4М — матрицы для прессования абразивных материалов, а также штампы для вырубки твердых материалов.

Вторичноотверждающие стали с высоким сопротивлением смятию обычно применяют для следующих видов штампов холодного деформирования: 8Х4В2С2МФ — для тяжело нагруженных пуансонов и матриц, используемых при холодном и полугорячем объемном деформировании (выдавливание, высадка и т. п. при давлениях до

2200—2300 МПа); 11Х4В2С2Ф3М — для тяжелонагруженных пуансонов и матриц (выдавливание, вырубка, высадка в условиях повышенного износа и высоких давлений — 2000—2200 МПа); Х5С4В2Ф2НМ — для тяжелонагруженных пуансонов сечением более 20 мм (высадка и выдавливание при давлении до 2600 МПа); 8Х4В3М3Ф2 — для тяжелонагруженных пуансонов и матриц, используемых при холодном и полугорячем объемном деформировании (выдавливание, высадка при давлении до 2200—2300 МПа).

Высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью целесообразно применять для изготовления инструментов для прецизионной вырубки, пробивки, вытяжки и формовки изделий из низкоуглеродистых сталей и цветных сплавов. Стали марок 6Х6В3МФС и 6Х4М2ФС используют для высадочных пуансонов и матриц, ножей трубразрубочных машин и гильотинных ножниц, а также других инструментов, работающих в условиях значительных динамических нагрузок при давлениях до 1500 МПа. В ряде случаев наряду с указанными сталями целесообразно применять сталь марки 6ХЗФС, характеризующуюся повышенной прокаливаемостью, малыми деформациями при термической обработке и высоким сопротивлением хрупкому разрушению при статических и динамических нагрузках, а поэтому успешно конкурирующей со сталями Х12 и Х12Ф1 в тех случаях, когда основной причиной выхода из строя рабочих частей штампов (чеканочных, калибровочных, высадочных) является хрупкое разрушение. В условиях серийного и массового производства сталь 6ХЗФС можно использовать также вместо сталей У7, 7Х, 7ХФ, 6ХВ2С и т. д. для изготовления ножниц и ножей для рубки листов, высадочного инструмента и др.

Глава 4

ВЫПЛАВКА И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

1. ВЫПЛАВКА

Штамповые стали обычно поставляют в виде прутков круглого, квадратного и прямоугольного сечений и индивидуальных поковок (кубиков). К ним предъявляют высокие требования относительно содержания вредных примесей (серы, фосфора и др.), газов, неметаллических включений, однородности структуры и свойств по сечению, а также качества поверхности. Инструментальные стали изготавливают двумя принципиально различными способами производства: металлургическим переделом (с выплавкой в печи) и порошковой металлургией.

Большинство штамповых сталей выплавляют в электродуговых печах массовой вместимостью 5—50 т; для качественного рафинирования металла от вредных примесей, неметаллических включений и газов зачастую применяют специальные способы выплавки: *вакуумно-индукционную плавку; вакуумно-дуговой,*

электрошлаковый, электронно-лучевой и плазменно-дуговой переплавы. Углеродистые качественные стали выплавляют в основных мартеновских печах; некоторые из них получают способом непрерывной разливки. Стали повышенной вязкости (5ХНМ, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ и др.), применяемые для крупногабаритных штампов горячего деформирования и поставляемые в основном в виде индивидуальных поковок (кубиков), выплавляют в кислых мартеновских печах.

Выплавку в электродуговых печах осуществляют методом переплава легированных отходов как с продувкой кислородом, так и без продувки. Рафинирование проводят под карбидным или белым шлаком, который обычно раскисляют порошком кокса и ферросилиция. Наряду с этим выплавку штамповых сталей, за исключением высокохромистых (Х12, Х12М и др.), можно проводить и с полным окислением (рудой или кислородом). Перед выпуском металла из печи в ковш присаживают кусковой алюминий в количестве 0,3—0,5 кг/т для раскисления. Для более глубокого конечного раскисления штамповых сталей горячего деформирования (4Х4ВМФС, 5Х3ВЗМФС и др.) рекомендуется дополнительная присадка в ковш 1,5 кг/т силикокальция, что обеспечивает улучшение поверхности слитков и повышение их технологической пластичности. Модифицирование силикокальцием в количестве 2,0—2,2 кг/т эффективно также для низколегированных заэвтектоидных сталей (ХВГ, 9ХС и др.), так как позволяет уменьшить остатки карбидной сетки.

Металл разливают сифоном или сверху в квадратные, круглые и прямоугольные изложницы для слитков массой 0,3—3,5 т. Некоторые стали, в частности 5ХНВ, 5ХНМ и др., предназначенные для крупных поковок, разливают в восьмигранные изложницы для слитков массой 5—16 т и более. Рекомендуется разливка под жидким шлаком, образующимся при сгорании экзотермических смесей в изложнице и улучшающим поверхность слитков. Температура металла в ковше должна обеспечивать полную качественную разливку его и обычно ее назначают на 50—100 °С выше температуры ликвидуса. Для сталей, применяемых для изготовления молотовых штампов — 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХМФС, — эта температура составляет 1560—1600 °С, для сталей типа Х12 и Х12М — 1500—1550 °С, а для остальных штамповых сталей — 1590—1620 °С.

В связи с тем что многие штамповые стали склонны к образованию термических трещин при охлаждении на воздухе, слитки после извлечения их из изложниц передают, как правило, в горячем состоянии (с температурой поверхности не ниже 700 °С) в печи для нагрева под деформацию или отжиг. В тех случаях, когда это сложно осуществить, слитки указанных сталей можно замедленно охлаждать в неоттапливаемых колодцах (или термостатах) до температуры 150—250 °С. После выгрузки из колодцев слитки не позже чем через 24—48 ч загружают на отжиг.

Содержание никеля в штамповых сталях регламентируется стандартами и техническими условиями и для большинства марок

не должно превышать 0,35 %. Для углеродистых сталей, используемых в качестве малопронакаливающихся, это ограничение содержания никеля как элемента, сильно изменяющего прокаливаемость, вполне оправдано. Для некоторых легированных штамповых сталей допускается повышение содержания никеля до 0,6—0,8 %; при этом несколько возрастают прочность, вязкость и устойчивость против перегрева. Марганца в теплостойких сталях должно быть не более 0,4 %; если марганец вводится в качестве легирующего элемента, то он в сталях присутствует в повышенном количестве. Содержание меди во всех штамповых сталях не должно превышать 0,3 %. Вредные примеси в штамповых сталях должны присутствовать в минимальных количествах. Так, содержание серы и фосфора в легированных штамповых сталях не должно превышать 0,03 % каждого элемента, в углеродистых качественных — 0,03 % S и 0,035 % P, в углеродистых высококачественных — 0,02 % S и 0,03 % P. В сталях после электрошлакового переплава максимальное содержание серы должно составлять 0,015 %. При содержании более 0,03 % фосфор заметно снижает вязкость и прочность стали, способствуя росту зерна при нагреве под закалку и усиливая искажения решетки мартенсита.

Неметаллические включения (сульфиды, оксиды, силикаты), особенно в поверхностных слоях и по границам зерен, служат очагами зарождения усталостных трещин и легко выкрашиваются; это снижает главным образом сопротивление контактной усталости и разгаростойкость стали. В присутствии повышенного количества оксидов и силикатов затрудняется также получение более чистой поверхности при шлифовании и полировании. Особенно значительным отрицательное влияние серы становится при ее содержании более 0,03 %. Количество оксидов и силикатов в штамповых сталях обычно не регламентируется. Они обнаруживаются в микроструктуре в виде включений округлой или неправильной формы (оксиды и хрупкие силикаты) или в виде вытянутых включений (сульфиды и пластичные силикаты). Содержание газов в штамповой стали также не регламентируется. В стали, выплавленной в электрической дуговой печи, содержание азота обычно не превышает 0,025 %, кислорода 0,01 % и водорода 0,0005 %. За счет электрошлакового переплава содержание водорода снижается до 0,0004 %; при выплавке стали в вакуумно-индукционной печи содержание азота составляет 0,005—0,006 %, кислорода 0,002—0,003 % и водорода до 0,0002 %.

Электронно-лучевой, плазменно-дуговой и электрошлаковый переплавы обеспечивают эффективное рафинирование сталей от неметаллических включений, общее количество которых при электронно-лучевом переплаве уменьшается в 6—8 раз, при плазменно-дуговом — в 4—5 раз и при электрошлаковом — в 3—4 раза. Наряду с уменьшением общего содержания неметаллических включений все способы переплавов способствуют значительному повышению их дисперсности и равномерному распределению в объеме слитка; это является существенным преимуществом переплавленного

металла. Все способы переплава улучшают свойства штамповой стали. Так, за счет вакуумирования у заэвтектоидных сталей предел выносливости возрастает на 10—20 %, а контактная выносливость — на 20—30 %; у теплостойких сталей возрастают вязкость и пластичность, что сопровождается повышением разгаростойкости.

Особенно значительно влияние рафинирующей обработки стали для инструментов с тонкой рабочей кромкой. Поэтому стали, выплавляемые в вакуумной индукционной печи, целесообразно использовать, во-первых, при изготовлении штампов горячего деформирования, работающих в условиях повышенных нагрузок, особенно динамических или при интенсивном охлаждении, и, во-вторых, при изготовлении штампов холодного деформирования, которые должны сочетать сопротивление пластической деформации с устойчивостью против динамических нагрузок. Весьма рационально применять стали после соответствующего переплава (особенно электрошлакового) для изготовления крупногабаритных (сложной формы) тяжело нагруженных инструментов, выходящих из строя из-за хрупкого разрушения: пуансонов и выталкивателей холодного выдавливания диаметром более 40—60 мм, вырубных штампов для рубки толстого листа, молотовых и прессовых вставок со сложной гравюрой для горячей штамповки изделий из труднодеформируемых материалов, инструментов высокоскоростных молотов и гидровинтовых прессов и др. Действительно, электрошлаковый переплав для штамповых сталей холодного и горячего деформирования обеспечивает повышение пластичности и вязкости (конструктивной прочности), сопротивления усталостной повреждаемости и изотропности механических свойств и, как следствие, увеличение надежности и срока службы штампов.

Электрошлаковый переплав штамповых сталей осуществляют с применением электродов: кованых (катаных), отлитых в кокиль или полученных на установке для полунепрерывной разливки в водоохлаждаемые медные кристаллизаторы квадратного (круглого) сечения для слитков массой 0,7—4 т.

Перспективным способом повышения стойкости тяжело нагруженных штамповых инструментов является изготовление их методами порошковой металлургии. Наибольшее распространение получил метод, при котором расплавленная сталь распыляется в инертном газе (аргоне, азоте), предупреждающем значительное окисление. Мелкие капли стали быстро охлаждаются и закаливаются, в результате в них создается равномерное распределение легирующих элементов, частицы которых имеют форму сферы размером до 600 мкм (у большинства частиц ~ 150 мкм). Полученный порошок помещают в контейнер и предварительно прессуют в холодном состоянии при высоком давлении (до 400 МПа) — из-за высокой твердости плотность его при этом повышается мало. Затем контейнер вакуумируют, нагревают до 1150—1200 °С и прессуют под давлением 140 МПа. Полученные заготовки можно ковать на требуемые размеры. Ковка не вносит существенных изменений в состояние карбидной фазы. Особенности полученного по-

описанной технологии материала являются однородность металла, высокая дисперсность и равномерное распределение в объеме карбидных фаз. Это объясняется высокими скоростями кристаллизации частиц после распыления металла и технологией прессования, обеспечивающей всестороннее сжатие. Порошковые инструментальные стали имеют и технологические преимущества: повышенную пластичность при высоких температурах, хорошую шлифуемость и др.

Возможность изготовления высококачественного инструмента с гравюрой, получаемой литьем, появилась в связи с разработкой метода литья в керамические формы. Этот метод позволяет получать точные изделия с качественной поверхностью; одновременно обеспечиваются достаточно высокие показатели механических свойств. Литая сталь, уступая деформированной по пластичности и сопротивлению деформированию при комнатной температуре, по ряду важных показателей и прежде всего по теплостойкости, сопротивлению деформированию при высоких температурах и износостойкости превосходит деформированную.

Важной особенностью литой стали является и то, что при нагреве ее до температур образования аустенита сетка карбидов в фазовых превращениях не участвует; это устраняет опасность значительных деформаций литого инструмента (коробления) при закалке. Деформации малы даже при закалке в масле, так как комбинация из основной структуры и карбидной сетки способствует повышению сопротивления материала инструмента деформации в условиях сжатия и растяжения. Однако наличие грубой сетки карбидов может привести к выкрашиванию острых кромок.

Обрабатываемость литой стали ниже, чем деформированной. Однако улучшить обрабатываемость литой стали можно за счет незначительного перегрева ее при плавлении и ускорения охлаждения отливок. Такая обработка способствует получению в первичной структуре более тонкой сетки карбидов.

Таким образом, эффективное использование литой стали для штампов определяется следующими ее особенностями:

- более высокими показателями твердости и прочности при повышенных температурах;

- повышенным сопротивлением износу благодаря специфическому распределению карбидной фазы при определенных условиях кристаллизации;

- улучшением некоторых характеристик разгарообразования благодаря более равномерному каркасному распределению карбидов и лучшей способности к сохранению твердости при повышенных температурах отпуска;

- пониженной чувствительностью к концентраторам напряжений; отсутствием дефектов, характерных для деформированной стали: очагов разрушения на участках газовых пор и рыхлостей, рванин в результате низкой пластичности, флокенов, поверхностей раздела, появляющихся в результате деформации шлаковых включений.

Деформируемость литого металла существенно зависит от дисперсности, устойчивости против оплавления и объемного содержания эвтектических составляющих. Поэтому стали X12, X12M, X12Ф1, имеющие в литом состоянии хрупкую эвтектику в виде замкнутого скелета, обладают в горячем состоянии наименьшей пластичностью, а стали с более низким содержанием углерода и карбидообразующих элементов (типа 8Х4В2С2МФ) и более благоприятной структурой после кристаллизации (отдельные формирования эвтектики по границам первичных зерен) значительно лучшей.

Необходимая степень укова для штампового инструмента может составлять от 3 до 25 в зависимости от химического состава стали, назначения, способа выплавки и термической обработки, размера слитка, размера поковки и других факторов.

Температурные интервалыковки штамповых сталей выбирают с учетом изменения пластичности и сопротивления деформированию при нагреве. Верхнюю границу температурного интервала выбирают с таким расчетом, чтобы предотвратить снижение пластичности в зоне перегрева и пережога, т. е. на 50—60 °С ниже температуры перегрева. Нижнюю границу температурного интервалаковки назначают такую, чтобы сохранить достаточную пластичность и обеспечить мелкозернистое строение стали после последних операций деформирования и последующей рекристаллизации.

Режимы нагрева в методических печах слитков и заготовок из штамповых сталей для последующейковки, применяемые на большинстве заводов, приведены в табл. 4. 1.

Охлаждение поковок после окончанияковки является очень важной операцией, от которой во многом зависит качество готовой продукции. При охлаждении могут суммироваться в различных вариантах напряжения, появившиеся в поковке в результате неоднородной пластической деформации, с тепловыми и структурными напряжениями, возникающими во время охлаждения.

Большинство сталей для штампов горячего деформирования являются воздушно-закаливающимися, особенно в малых сечениях. Поэтому готовые поковки штамповых сталей медленно охлаждают в термостатах, предварительно подогретых печах, футерованных ямах или ящиках с песком, золой или шлаком. Для предотвращения выпадения карбидной сетки по границам аустенитного зерна поковки целесообразно предварительно подстуживать на воздухе до температуры 700—650 °С. После медленного охлаждения до 200—100 °С поковки передают на предварительную термическую обработку — отжиг или высокий отпуск.

Ковку заготовок инструментов из штамповых сталей выполняют на пневматических или паровоздушных молотах. Иногда применяют гидравлические прессы.

Технологический процессковки заготовок штампового инструмента включает в себя последовательный ряд как основных операцийковки (осадка, протяжка, прошивка, отрубка), так и вспо-

Таблица 4.1 Режимы нагрева слитков и заготовок из штамповых сталей в методических печах

Марки стали	Продолжительность нагрева, ч						Температура нагрева по зонам, °С*				Температура концаковки, °С	
	слитка массой, кг			квадратной заготовки со стороны сечения, мм			слитка		заготовки		слитка	заготовки
	1000—1400	700—1000	300—400	150—200	100—150	50—100	спарочная	топильная	спарочная	топильная		
9Х1, 9ХВГ, ХВГ, 9ХС, 9Х5ВФ, ХВСГ	8—20	7—16	6—12	3,5—6	3—4,5	1,5—2,5	1160	1200	1160	1200	850	850
Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ, Х12Ф4М, 6Х6В3МФС, 8Х4В3М3Ф2, 8Х6НФТ	14—24	12—20	10—16	4—6	3—5,5	2—3	1160	1180	1160	1180	900	850
Х6ВФ, Х4В1М2Ф2, Х4М3С2ВФ	12—20	10—18	8—16	3—5	2,5—4	2—2,5	1140	1160	1140	1160	900	870
ХВ4, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 3Х3М3Ф, 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХМФС, 3Х2В8Ф, 5Х2МНФ, 7ХГ2ВМ	8—20	7—16	6—12	2,5—6	2—4	1,0—1,5	1200	1230	1190	1220	850	800
4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС, 4Х2В5МФ, 4Х2В2МФС	12—20	8—16	7—14	3,5—6	3—5,5	1,0—3,0	1150	1200	1150	1190	850	800

* Температура в зоне посадки слитка не должна превышать 600—700 °С, а заготовки — 700—800 °С.

могательных (прошивка, пережим) и отделочных операций (билетировка, проглаживание, правка). Наибольшее деформирование металла заготовки происходит при операциях осадки и протяжки. Эти операции наиболее часто применяют при ковке поковок штампового инструмента.

Процессковки штамповых заготовок не всегда удается закончить при регламентированной температуре окончанияковки и заданной степени деформации. Скорость охлаждения поковок после окончанияковки также не всегда позволяет получать необходимую структуру, твердость и уровень остаточных напряжений. Поэтому поковки подвергают предварительной термической обработке — отжигу или иногда высокому отпуску. Назначение отжига — перекристаллизация стали для измельчения зерна и получения низкой твердости, а также структуры зернистого перлита, поскольку при такой структуре более эффективны результаты последующей закалки. Кроме того, при отжиге существенно снижается уровень остаточных напряжений.

3. ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ

Штампы и другую технологическую оснастку (пресс-формы, различные приспособления и др.) на машиностроительных заводах изготавливают в инструментальных цехах. На крупных заводах может быть несколько инструментальных цехов, специализированных на производстве отдельных видов оснастки: цех горячих штампов, цех приспособлений и т. п., или же по видам обработки: механический цех, термический цех. На предприятиях средней мощности инструментальное хозяйство обычно состоит из инструментального цеха, центрального инструментального склада, цеховых раздаточных кладовых и инструментальных участков в основных производственных цехах: кузнечно-штамповочном, литейном, механическом и сборочном. В инструментальном цехе сосредоточены производство технологической оснастки и ее капитальный ремонт. Центральный инструментальный склад осуществляет хранение оснастки, изготовленной инструментальным цехом или полученной по кооперации от других предприятий, и выдачу ее в производственные цехи. Цеховые раздаточные кладовые выдают технологическую оснастку непосредственно на рабочее место, а инструментальные участки в основных цехах выполняют ее текущий и мелкий ремонт.

Вначале заготовки для штампов обрабатывают одинаково, независимо от массы и конфигурации поковок, для которых они предназначены. Для транспортирования в заготовках сверлят отверстия, после чего строгают плоскости и хвостовики; затем размечают и фрезеруют шпоночные пазы и клеймят марку стали, условные номера штампа и поковок. В дальнейшем штампы с ручьями сложной формы (для штамповки поковок типа шатунов, рычагов, коленчатых валов и т. п.) подвергают фрезерной и слесарной обработке, а штампы с ручьями простой формы (для штамповки поковок типа шестерен, муфт, дисков и т. п.) — токарной и расточной и реже

фрезерной и слесарной обработке. Подготовленный штамп передают на термическую обработку, после завершения которой ручки зачищают и доводят на шлифовальных станках или вручную. Однако, как исключение, крупные и сложные молотовые штампы изготовляют из предварительно термически обработанных заготовок. Мелкие и простые пуансоны, матрицы и прессовые вставки зачистую после термической обработки шлифуют также и по всем установочным, посадочным и формообразующим поверхностям.

Глава 5

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. ЗАКАЛКА

Термическая обработка деформирующего инструмента должна обеспечить получение заданных техническими условиями твердости, предела прочности и ударной вязкости и не вызывать чрезмерного коробления, окисления и обезуглероживания поверхности. Обычно она состоит из закалки в различных средах и отпуска.

Оборудование и режимы, применяемые для термической обработки крупных штампов (молотовых кубиков, вставок, втулок контейнеров, матриц и полуматриц мощных прессов и ГKM) и сменного штампового инструмента малых и средних размеров и массы (различных пуансонов, матриц, вставок, выталкивателей и т. п.), существенно различаются.

Применяют две технологические схемы термической обработки крупных штампов. В соответствии с первой схемой, наиболее часто используемой на практике, термическую обработку производят после полной механической обработки штампа. Доводку гравюры термически обработанного штампа до размеров, предусмотренных чертежом, осуществляют с помощью абразивного инструмента. По второй схеме штампы (как правило, очень крупные с наименьшим размером 400 мм) сначала подвергают черновой (предварительной) обработке резанием, а уже затем термической обработке на твердость HB 310—340 (HRC 34—37). После этого с помощью режущего инструмента выполняют чистовую обработку гравюры и других поверхностей штампа.

Сменный штамповый инструмент поступает на термическую обработку либо с припусками для выполнения заключительных операций обработки резанием (шлифовки, доводки), либо без припусков, т. е. с размерами и допусками, указанными в чертеже. По второму варианту обычно обрабатывают инструмент небольших размеров простой геометрической формы, без резких переходов сечений; при термической обработке такого инструмента коробление, как правило, не отмечается. При термической обработке сменного штампового инструмента сложной формы технологи-

ческий процесс его изготовления строят по следующей схеме: черновая обработка резанием с оставлением небольших припусков (до 1—2 мм на сторону) для исправления возможного коробления при нагреве, отжиг для уменьшения остаточных напряжений, чистовая обработка резанием, окончательная термическая обработка, зачистка (доводка).

Вследствие пониженной теплопроводности штамповых сталей для уменьшения коробления деталей деформирующего инструмента в процессе термической обработки (особенно при окончательном нагреве в ваннах) рекомендуется применение *промежуточных подогревов*: однократного при 650—680 или 840—870 °С или двукратного в обоих указанных температурных интервалах. Введение в технологический процесс промежуточных подогревов способствует выравниванию температуры по сечению инструмента, тепловых и структурных напряжений. При нагреве до 650—680 °С значительно уменьшаются остаточные напряжения за счет протекания местной пластической деформации и процессов ползучести. Подогрев до 840—870 °С обеспечивает медленный переход интервала фазовых превращений и более или менее одновременное развитие превращений во всем сечении нагреваемой детали; это приводит к уменьшению напряжений, вызываемых различием в удельных объемах фаз, участвующих в превращении, и, следовательно, способствует уменьшению коробления. Понятно, что введение промежуточных подогревов усложняет технологический процесс термической обработки инструмента. Однако при быстром окончательном нагреве применение подогревов способствует заметному улучшению ее качества. При медленном нагреве под закалку (нагрев в печи с упаковкой инструмента в ящики с защитным материалом) введение промежуточных подогревов является необязательным.

Выбору температуры нагрева штампов под закалку обычно уделяют серьезное внимание. Для крупных штампов более низкую температуру нагрева под закалку обычно рекомендуют в том случае, если их изготавливают по первой технологической схеме (окончательная обработка резанием перед термической). Для крупных штампов, изготавливаемых по второй технологической схеме, следует применять повышенные температуры нагрева под закалку; при этом за счет более высокой прокаливаемости можно обеспечить высокие механические свойства и стойкость при многократном восстановлении без повторной термической обработки. Для сменного штампового инструмента обычно применяют стали, содержащие большое количество легирующих элементов (в частности, хрома, вольфрама, молибдена, ванадия). В этих сталях при нагреве под закалку важно обеспечить максимальное растворение углерода и легирующих элементов в аустените и сохранить достаточно мелкое зерно (не крупнее 10 балла). Однако следует иметь в виду, что карбиды вольфрама, молибдена и ванадия при нагреве под закалку растворяются замедленно, что, с одной стороны, препятствует росту зерна и появлению перегрева, а с другой стороны, требует при закалке повышенных температур нагрева.

При повышении температуры нагрева штамповых сталей под закалку вследствие растворения цементита и карбидов возрастают степень легированности аустенита и насыщенность его углеродом; благодаря этому твердость сталей с ростом температуры нагрева под закалку увеличивается. В высоколегированных штамповых сталях процесс растворения карбидов не завершается вплоть до температур 1200—1250 °С, поэтому увеличение твердости сохраняется и при закалке с высоких температур. Однако, начиная с некоторых температур нагрева, твердость стали после закалки при дальнейшем повышении температуры остается постоянной или даже уменьшается — объясняется это увеличением содержания остаточного аустенита. Примеры выбора температурных интервалов нагрева под закалку для наиболее распространенных штамповых сталей представлены на рис. 5.1.

Для среднелегированной стали марки 5ХНБ рациональным температурным интервалом нагрева под закалку является интервал 860—880 °С, обеспечивающий в стали зерно 10—11 баллов и твердость на образцах до HRC 61 и, следовательно, необходимые для многих разновидностей штампов высокие значения ударной вязкости, разгаростойкости и прочности.

Медленное растворение специальных карбидов и обусловленный этим медленный рост зерна в стали 3Х2В8Ф позволяют применять для нее весьма широкий диапазон температур нагрева под закалку (от 1050 до 1200 °С) и выбирать режим термической обработки с учетом условий эксплуатации конкретного вида штампового инструмента. Для тяжелонагруженного штампового инструмента, работающего с разогревом поверхности до 600—650 °С (прошивные пуансоны, зубчатые вкладыши, выталкиватели, формирующие большие углубления под прошивку отверстий и т. п.), рекомендуется закалка с температур 1130—1160 °С, обеспечивающая (после отпуска) высокую теплостойкость и прочность при нагреве. Для средненагруженного штампового инструмента, работающего с разогревом поверхности не выше 550—600 °С (различные вставки, матрицы, выталкиватели, формирующие небольшие углубления под прошивку отверстий, штампы для быстро подстывающих мелких деталей и т. п.), рекомендуется закалка с температур 1070—1100 °С, обеспечивающая получение более мелкого зерна, высокой прочности и ударной вязкости и, как следствие, хорошей разгаростойкости.

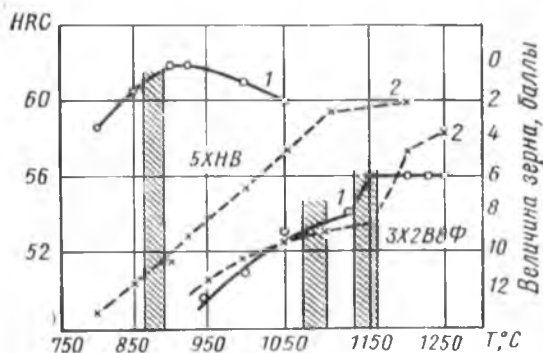


Рис. 5. 1. Выбор температурных интервалов нагрева под закалку штамповых сталей марок 5ХНБ и 3Х2В8Ф:

1 — твердость HRC; 2 — балл аустенитного зерна

Продолжительность выдержки при температуре аустенитизации устанавливают не только с учетом полного прогрева инструмента, но и необходимости растворения того количества углерода и легирующих элементов, которое может быть переведено в аустенит при данной температуре нагрева. Короткая выдержка не обеспечивает достаточной прокаливаемости и теплостойкости, а излишне длительная выдержка вызывает рост зерна и обезуглероживание. Для высоколегированных сталей, которые содержат более труднорастворимые карбиды (типа M_6C , MC), продолжительность выдержки, как правило, больше, чем для низколегированных сталей (с карбидами типа M_3C , M_7C_3 и $M_{23}C_6$).

При нагреве под закалку сменного штампового инструмента в соляных ваннах продолжительность выдержки выбирают из следующего расчета: при подогреве в интервале температур 650—850 °C и последующем окончательном нагреве в интервале 820—950 °C — 18—24 с на 1 мм толщины детали (наименьшего размера наибольшего сечения); при окончательном нагреве (после предварительного подогрева) в интервале 1000—1150 °C — 12—15 с на 1 мм толщины детали для штамповых сталей с общим легированием вольфрамом, молибденом и ванадием от 2,5 до 4,0 %; до 35—45 с на 1 мм для штамповых сталей с общим легированием указанными элементами свыше 4 %. При нагреве сменного штампового инструмента под закалку в камерных печах продолжительность выдержки обычно подбирают опытным путем в зависимости от способа упаковки деталей инструмента, размеров ящика, мощности печи и т. д. Без учета времени прогрева упаковки можно принимать продолжительность выдержки в печи из расчета 50—70 с на 1 мм толщины.

Высокое качество закалки штампового инструмента можно обеспечить за счет выбора определенной скорости охлаждения с температуры аустенитизации. При этом приходится считаться со следующими противоречиями. Быстрое охлаждение увеличивает вероятность появления высоких тепловых и структурных напряжений, коробления и трещинообразования. Замедленное охлаждение при закалке средне- и высоколегированных штамповых сталей приводит к уменьшению ударной вязкости и пластичности, что объясняется двумя причинами: во-первых, выделением карбидов в виде сетки по границам зерен в области надкритических температур и усилением этого процесса при последующем отпуске; во-вторых, частичным распадом аустенита в промежуточной области с образованием структуры типа верхнего бейнита.

В зависимости от марки стали и формы инструмента охлаждение после аустенитизации проводят в масле, воде, водных растворах солей или щелочей, на воздухе и в расплавах солей. Охлаждающую среду (скорость охлаждения) выбирают с помощью термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита. При назначении режима ступенчатой и изотермической закалки используют диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита.

Таблица 5.1. Режимы термической обработки штампового инструмента для холодного деформирования

Материал	Закалка				Отпуск на воздухе, 1,5 ч	
	температура подогрева, °С	температура закалки, °С	охлаждающая среда	твердость HRC	температура, °С	твердость HRC
X12	650—700	950—980	Масло	63—65	180—200 320—50	60—62 57—58
X12BM	650—700	1000—1030	»	63—65	180—200 350—400	60—62 57—59
X12M	650—700	1000—1030	»	63—65	190—210 320—350	60—62 57—58
X12Φ1	650—670	1000—1050	Селитра	62—64	180—200 400—420	60—62 57—58
X6BΦ	650—700	980—1000	Масло	63—65	150—170 280—300	62—63 56—58
8X6HΦT	650—700	950—1000	Селитра	>58	280—300 400—420	56—57 55—56
9X5BΦ	650—700	950—1000	Масло	>59	280—300 400—420	57—58 55—56
X6Φ4M	650—700	980—1020	»	63—65	160—180	61—62
8X4B2C2MΦ	700—750	1140—1170	»	61—62	540—560*	62—64
8X4B3M3Φ2	860—880	1060—1090	»	62—64	530—540*	62—63
7X12BM	650—700	1155—1175	»	60—62	550—560*	60—61
6X6B3MΦC	800—850	850—860	»	61—62	140—160 190—210	59—60 57—58
		1050—1070	Воздух	60—62	540—560**	58—60
			Селитра			
			Масло		480—500***	

* Трехкратный отпуск по 1 ч каждый.

** Температура первого отпуска.

*** Температура второго отпуска.

Рекомендуемые режимы термической обработки штампов для холодного и горячего деформирования приведены в табл. 5.1 и 5.2.

2. ОТПУСК

Отпуск — заключительная операция термической обработки, формирующая окончательные структуру и свойства материала штампового инструмента. Его проводят при температурах, не превышающих критическую точку A_{c1} . При нагреве происходит выделение углерода из мартенсита, приводящее к уменьшению искаженной решетки α -железа. Такой мартенсит называют отпущенным. При температурах порядка 300—400 °С завершается выделение углерода и образуется высокодисперсная феррито-цементитная смесь, называемая трооститом отпуска. При дальнейшем нагреве происходит коагуляция кристаллов карбидов и уменьшается дисперсность структуры. Структуру углеродистой стали, образующуюся при температурах отпуска 500—650 °С, называют сорбитом отпуска. При более высоких температурах нагрева образуется перлит отпуска.

Т а б л и ц а 5.2. Режимы термической обработки штампового инструмента для горячего деформирования

Материал	Закалка				Отпуск*			
	температура подогрева, °С	температура закалки, °С	способы охлаждения**	твердость HRC	температура °С	Твердость		
						диаметр отпечат- ка, мм	HB	HRC
3Х2В8Ф	840—860	1130—1160	I, II	52—56	600—630	2,75—2,85	452—495	47—50
					630—660	2,85—3,00	415—461	44—48
					660—680	2,95—3,15	375—429	40—45
	840—860	1070—1100	I, II	48—52	580—600	2,75—2,85	452—495	47—50
					600—620	2,85—3,00	415—461	44—48
					620—640	2,95—3,15	375—429	40—45
7Х3	650—700	850—880	III, IV	54—60	400—450	2,70—2,85	461—514	48—52
					450—490	2,85—3,00	415—461	44—48
					490—530	2,95—3,15	375—429	40—45
8Х3	650—700	850—880	III, IV	55—61	530—620	3,15—3,60	286—375	30—40
					470—520	2,70—2,85	461—514	48—52
					520—560	2,85—3,00	415—461	44—48
5ХНМ, 5ХГМ	600—650	830—860	III, IV	56—60	560—600	2,95—3,15	375—429	40—45
					380—420	2,70—2,85	461—514	48—52
					420—500	2,85—3,00	415—461	44—48
5Х11В	600—650	860—880	III, IV	56—60	500—550	2,95—3,15	375—429	40—45
					550—650	3,15—3,60	286—375	30—40
					360—420	2,70—2,85	461—514	48—52
5ХНВС	600—650	860—880	III, IV	56—60	420—460	2,85—3,00	415—461	44—48
					180—560	2,95—3,15	375—429	40—45
					560—600	3,15—3,40	321—375	35—40
4ХМФС	650—700	900—930	III, IV	55—59	420—480	2,70—2,85	461—514	48—52
					180—540	2,85—3,00	415—461	44—48
					540—600	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5В2ФС	840—860	1030—1050	I, II	52—56	500—550	2,70—2,85	461—514	48—52
					550—600	2,85—3,05	401—452	42—47
					540—560	2,60—2,70	514—545	52—55
4Х2В5МФ	850—870	1080—1110	I, II	53—57	560—580	2,70—2,85	461—514	48—52
					580—600	2,85—3,00	415—461	44—48
					600—620	2,95—3,15	375—429	40—45
	850—870	1060—1080	I, II	50—55	620—650	2,75—2,85	461—495	48—50
					650—670	2,85—3,00	415—461	44—48
					670—700	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5МФС	840—860	1000—1020	I, II	50—55	600—620	2,75—2,85	461—495	48—50
					620—650	2,85—3,00	415—461	44—48
					650—670	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5МФ1С	840—860	1020—1040	I, II	52—56	520—550	2,60—2,70	514—545	52—55
					550—570	2,70—2,85	461—514	48—52
					570—590	2,85—3,00	415—461	44—48
4Х3ВМФ	840—860	1040—1060	I, II	52—56	590—620	2,95—3,15	375—429	40—45
					540—560	2,60—2,70	514—545	52—55
					560—580	2,70—2,85	461—514	48—52
4Х4ВМФС	840—860	1050—1070	I, II	55—60	580—600	2,85—3,00	415—461	44—48
					600—630	2,95—3,15	375—429	40—45
					550—570	2,60—2,70	514—545	52—55
	840—860	1050—1070	I, II	55—60	570—600	2,70—2,85	461—514	48—52
					600—620	2,85—3,00	415—461	44—48
					620—650	2,95—3,15	375—429	40—45

Материал	Закалка				Отпуск*			
	температура подогрева, °C	температура закалки, °C	способы охлаждения**	твердость HRC	температура, °C	Твердость		
						диаметр отпечат- ка, мм	HB	HRC
3Х3М3Ф	840—860	1030—1050	I, II	47—53	540—580	2,65—2,70	514—534	52—54
					580—620	2,70—2,85	461—514	48—52
					620—640	2,85—3,00	415—461	44—48
					640—670	2,95—3,15	375—429	40—45
					550—580	2,70—2,85	461—514	48—52
4Х2В2МФС	840—860	1080—1100	I, II	55—60	580—610	2,85—3,00	415—461	44—48
					560—600	2,70—2,80	477—514	48—53
5Х3В3МФС	850—870	1150—1170	I, II	55—58	600—640	2,75—2,95	429—495	45—50
					620—660	2,70—2,85	461—514	48—52
					660—680	2,85—3,00	415—461	44—48
					680—700	2,75—3,15	375—495	40—50
					540—560	2,60—2,65	534—545	54—56
4XC	650—700	880—890	III, IV	47—53	600—620	2,70—2,85	461—514	48—52
					620—650	2,85—3,00	415—461	44—48
					650—680	2,95—3,15	375—429	40—45
					200—280	2,75—2,95	429—495	45—55
					280—450	2,95—3,15	375—429	40—45
4XB2C	650—700	900—920	III, IV	53—56	450—650	3,15—3,60	286—375	30—40
					650—680	3,60—3,85	248—286	25—30
					360—420	2,75—2,85	452—495	47—55
5XB2C	650—700	900—920	III, IV	55—58	420—460	2,85—3,00	415—461	44—45
					460—520	2,95—3,15	375—429	40—45
					360—420	2,75—2,85	452—495	47—50
6XB2C	650—700	900—920	III, IV	57—60	420—460	2,85—3,00	415—461	44—45
					460—520	2,95—3,15	375—429	40—45
					380—430	2,75—2,85	452—495	47—55
6XC	650—700	860—900	III, IV	55—60	430—470	2,85—3,00	415—461	44—45
					470—550	2,95—3,15	375—429	40—48
					350—400	2,85—3,00	415—461	44—48
					100—150	2,95—3,15	375—429	40—45

* Для высоколегированных сталей рекомендуется второй отпуск осуществлять при температуре на 20—30 °C ниже, чем первый.

** Способы охлаждения: I — подстуживание на воздухе до 900—950 °C, затем охлаждение в масле до 200—230 °C, далее на воздухе; II — подстуживание на воздухе до 900—950 °C, затем охлаждение в смеси расплавленных солей при температуре 450—600 °C с выдержкой до полного выравнивания температуры по сечению, после чего охлаждение в масле до 200—230 °C и далее на воздухе; III — охлаждение в масле до 200—230 °C, далее на воздухе; IV — охлаждение в смеси расплавленных солей при температуре 450—500 °C с выдержкой до полного выравнивания температуры по сечению, затем охлаждение в масле до 200—230 °C и далее на воздухе.

Совместное влияние карбидов и ферритной сетки определяет свойства закаленной стали при данной температуре отпуска.

Легирующие элементы при отпуске воздействуют как на процессы распада пересыщенного твердого раствора, так и на состояние и превращение структурных составляющих на различных этапах отпуска.

Легирующие элементы слабо влияют на скорость протекания первой стадии распада мартенсита. Влияние же их на вторую ста-

дию распада мартенсита достаточно велико и определяется их химической природой и количеством, в котором они введены в сталь. Все легирующие элементы по их влиянию на распад мартенсита при отпуске разбивают на две группы. Элементы первой группы (никель и марганец) оказывают слабое влияние на распад мартенсита. Элементы второй группы (хром, вольфрам, молибден, ванадий, кремний) в разной степени замедляют распад. Влияние некарбидообразующих элементов на устойчивость против отпуска связано с упрочняющим влиянием их на феррит как за счет растворения атомов элемента в решетке α -железа, так и за счет сохранения зерен феррита в пластически и упругодеформированном состоянии. Однако некоторые из этих элементов, в частности никель, увеличивают скорость коагуляции карбидов и коэффициент диффузии углерода в феррите, соответственно ускоряя выделение углерода из α -раствора.

Влияние обоих факторов приводит к тому, что никель практически незначительно увеличивает скорость распада твердого раствора. Марганец, являясь слабым карбидообразователем, незначительно уменьшает скорость коагуляции и коэффициент диффузии углерода в феррите. Несколько упрочняя феррит, он оказывает лишь небольшое влияние на повышение устойчивости мартенсита. Более интенсивно в этом отношении действуют сильные карбидообразующие элементы — ванадий, молибден, вольфрам и хром. Эти элементы существенно уменьшают скорость коагуляции карбидов и коэффициент диффузии углерода в α -растворе, что и приводит к замедлению процесса распада мартенсита. Особое положение занимает кремний, слабо тормозящий процесс коагуляции и практически не изменяющий величину коэффициента диффузии, но энергично тормозящий распад мартенсита. Можно предположить, что подобное действие кремния определяется изменением характера связей в кристаллической решетке вследствие сильно выраженных металлоидных свойств его. Поэтому в присутствии кремния процесс образования зародышей карбидной фазы, необходимый для протекания распада мартенсита, затрудняется. Возможно также, что влияние кремния связано с тем, что он затрудняет процесс самодиффузии железа, необходимый для образования карбида железа.

В процессе отпуска легированной стали в интервале температур, в котором происходит распад мартенсита, и при более высоких температурах параллельно с ростом карбидных частиц происходит перераспределение углерода и легирующих элементов между карбидной фазой и α -твердым раствором. В результате карбиды обогащаются карбидообразующими элементами, а α -фаза — некарбидообразующими. Однако суммарное содержание легирующих элементов в стали остается неизменным. Интенсивность протекания процессов перераспределения определяется температурой отпуска. Для каждого легирующего элемента существует определенная температура отпуска, выше которой процессы перераспределения заметно интенсифицируются. Для марганца эта температура составляет 350, для хрома 450, для вольфрама 550, для молибдена 600 °С. Тем-

пература начала интенсивного процесса перераспределения для каждого легирующего элемента определяется его диффузионной способностью. Задержка углерода в твердом растворе до более высоких температур связана с присутствием в твердом растворе карбидообразующих элементов, обладающих повышенным средством к углероду.

Отпуск штампового инструмента проводят сразу же после завершения закалки (не позднее чем через 2 ч). Штампы загружают в отпускную печь, нагревают до требуемой температуры, выдерживают и затем охлаждают на воздухе или в масле.

В последние годы разработан и внедряется процесс так называемого *дифференцированного* отпуска крупногабаритных штампов. Он предусматривает обеспечение в течение всего времени отпуска определенного градиента температур по сечению штампов, с тем чтобы рабочая часть отпускалась при более низких температурах, а по мере удаления от рабочей части к крепежной температура тела штампа постепенно повышалась. Процесс заключается в том, что нагрев осуществляют с одновременной подачей сжатого воздуха на гравюру. При этом гравюра отпускается на более высокую твердость (до HRC 52—54); твердость по сечению штампа постепенно снижается до HRC 35—40 у крепежной части.

Из всех параметров термической обработки наибольшее влияние на свойства штамповой стали оказывает *температура* отпуска; в меньшей степени влияют *продолжительность* выдержки при отпуске, *условия охлаждения* и применение *повторного* отпуска.

При выборе температуры отпуска штампового инструмента стремятся получить определенные твердость и прочность, обеспечивающие высокое сопротивление смятию гравюры штампа, а также достаточную вязкость для предотвращения преждевременного, аварийного разрушения деталей штампа при работе. Режимы отпуска сталей для штампов холодного и горячего деформирования приведены выше (см. табл. 5.1 и 5.2). Для повышения ударной вязкости штамповый инструмент из высоколегированных сталей подвергают двукратному или многократному отпуску. Температуру повторного отпуска обычно выбирают на 30—50 °C ниже температуры первого отпуска. Продолжительность выдержки при отпуске назначают из расчета 2 ч плюс 1,5 мин на 1 мм толщины деталей (при расположении штампового инструмента в печи в один ряд).

В закаленном состоянии (после закалки на мартенсит) и после низкого отпуска (200—250 °C) свойства штамповой стали мало зависят от ее химического состава. Как у углеродистых, так и у легированных штамповых сталей в таком структурном состоянии прочность и износостойкость высокие, а сопротивление хрупкому разрушению и разгарзостойкость низкие. Различия в этих свойствах можно достигнуть лишь за счет изменения условий закалки (температуры нагрева, продолжительности выдержки, скорости охлаждения). Однако штампы непосредственно после закалки и после закалки и низкого отпуска не применяют, обычно их подвергают закалке и среднему или высокому отпуску.

3. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Сущность термомеханической обработки состоит в совмещении в одном технологическом процессе пластической деформации и закалки, в результате которых формирование окончательной структуры стали или сплава, а следовательно, и их свойств происходит в условиях повышенной плотности несовершенств кристаллического строения, созданных пластической деформацией. Пластическая деформация изменяет характер распределения и увеличивает плотность несовершенств кристаллического строения — дислокаций, вакансий, дефектов упаковки, мало- и высокоугловых границ. Закалка фиксирует структурные изменения, происшедшие в аустените в результате наклепа и последующей выдержки, и определенным образом трансформирует их при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении.

Наследственность дислокационной структуры в сталях при мартенситном превращении является частным случаем наследственности дислокационной структуры при фазовых превращениях. Чем больше число (плотность) дислокаций в исходном аустените, тем выше плотность дислокаций в мартенсите. Экспериментальные данные подтверждают, что при больших плотностях дислокаций прочность возрастает.

Известно, что для технического использования высокопрочного состояния металлических сплавов необходимо, чтобы эти сплавы обладали одновременно высокой прочностью и достаточной пластичностью. В деформированном металле под влиянием нагрева происходит непрерывная перестройка дислокационной структуры. Такие стадии перестройки структуры, как рекристаллизация на месте или самые начальные этапы рекристаллизации обработки, связаны с созданием тонкого субзеренного строения. При этом пластичность возрастает в связи со снятием в определенной степени напряженного состояния, характерного для наклепанной структуры, и одновременно сохраняется высокий уровень прочности в связи с общим измельчением структуры.

В зависимости от условий проведения горячей деформации (температуры, степени и скорости деформации, длительности последовательной выдержки) формируется широкий спектр структурного состояния деформированного металла — от горяченаклепанного до статически рекристаллизованного. Режимы горячей деформации должны обеспечивать создание развитой субструктуры в результате динамической полигонизации или в крайнем случае — динамического возврата.

Особенностью субструктуры, возникающей в результате горячей деформации, сопровождающейся динамической полигонизацией, является то, что субграницы в зависимости от ориентации в пространстве могут при последующей деформации в процессе эксплуатации либо задерживать дислокации и определять локализацию деформации в объеме субзерна, что способствует упрочнению, либо пропускать дислокации, что способствует релаксации опасных локальных перенапряжений и уменьшению опасности разрушения. При этом

обеспечивается высокий устойчивый комплекс свойств: высокая прочность и высокое сопротивление хрупкому разрушению. Субструктуру динамической полигонизации с наибольшей полнотой наследует мартенсит.

Проведенные исследования по улучшению механических свойств штамповых сталей путем применения термомеханической обработки показали, что и для конструкционных сталей возможно повышение прочностных свойств без снижения пластичности и ударной вязкости.

4. ВИДЫ БРАКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Основное условие предотвращения брака при термической обработке штампового инструмента, как и при термической обработке других изделий,— строгое соблюдение технологического процесса. Брак может быть исправимым и неисправимым. Неисправимый брак связан с нарушением химического состава поверхностных слоев металла при окислении, а также с пережогом и короблением изделия, с образованием трещин. В табл. 5.3 приведены основные виды брака при термической обработке и способы их предотвращения и исправления.

Контроль качества термической обработки штампового инструмента состоит в наружном осмотре (выявляют закалочные трещины, оплавленные участки и другие поверхностные дефекты), а также в проверке твердости и коробления. У ответственного штампового инструмента из высоколегированных и среднелегированных сталей, подвергаемого закалке с высоких температур, контролируют наличие и глубину обезуглероженного (или науглероженного) слоя и величину зерна в структуре после закалки. Иногда (особенно в крупных штампах обезуглероживание может привести к образованию белого слоя толщиной 0,5—1 мм, имеющего ферритную структуру и низкую твердость (HRC 20—25). Из-за пониженных прочностных свойств в этом слое легче возникают разгарные трещины, распространяющиеся вглубь штампа, и усиливается налипание обрабатываемого металла. Для облегчения контроля микроструктуры вместе с партиями инструментов закаливают специальные образцы-свидетели.

Величину зерна аустенита определяют электролитическим методом травления микрошлифов, при этом анодом служит образец, а катодом — ванна из нержавеющей стали. Расстояние между поверхностью образца и дном ванны составляет около 10 мм. Электролитическое травление в 10 %-ном растворе щавелевой кислоты позволяет выявить границы зерен в сталях марок 4Х2В6МФ, 4Х5В4МФС и др. при следующих экспериментально установленных плотностях тока: при закалке с температуры 900—1000 °С — 20—30 А/дм²; при закалке с температуры выше 1000 °С — 40—50 А/дм². Травление проводят при комнатной температуре в течение 30—50 с. Для четкого выявления границ зерен в сталях, за-

Характеристика брака	Метод определения
Высокая твердость	Определение твердости
Карбидная сетка	Просмотр шлифа под микроскопом
Трещины	Осмотр изделия, испытание на дефектоскопе, проба керосином, краской
Недостаточная твердость	Определение твердости
Повышенная хрупкость, крупнозернистый излом	Осмотр излома, определение ударной вязкости
Мягкие пятна	Определение твердости в различных участках изделия

Иды брака при термической обработке штампов

Основные причины брака	Основные мероприятия по предотвращению и исправлению брака
При отжиге Недогрев; повышенная скорость охлаждения при обычном отжиге или малое время выдержки при изотермическом отжиге Нагрев деталей выше A_{cm}	Повторный отжиг при требуемой температуре с охлаждением по установленному графику или высокотемпературный отпуск Нормализация с последующим отпуском при $670-700^{\circ}\text{C}$ с выдержкой не менее 2 ч
При закалке Напряжения, возникающие из-за объемных изменений при переходе аустенита в мартенсит при температурах ниже 250°C Пониженная температура нагрева под закалку, недостаточная выдержка или малая скорость охлаждения Значительное превышение температуры закалки или излишне длительная выдержка Неэнергичное охлаждение, местное обезуглероживание, образование окалины, нерав-	Брак неисправимый. Для его предупреждения следует: по возможности применить ступенчатую или прерывистую закалку; изготавливать детали из легированных сталей, закаливающихся в масле; избегать изготовления деталей штампов с резкими переходами сечений; не допускать попадания воды в масляный закалочный бак; медленно нагревать закаленные изделия при повторной закалке; выточки, отверстия у краев, резкие переходы изолировать асбестом Для исправления брака изделие следует нормализовать или отжечь и снова закалить с соблюдением технологического режима Для исправления брака изделие следует нормализовать или отжечь и снова закалить с соблюдением технологического режима Брак исправимый, кроме случаев местного обезуглероживания. Для исправления брака изделие следует нормализовать и за-

Окисление и обезуглероживание	Окисление — осмотр; обезуглероживание — определением твердости и анализом микроструктуры	номерная величина зерна, загрязненность стали неметаллическими включениями, соприкосновение деталей при охлаждении. Соединение кислорода, находящегося в печи, с железом при окислении и с углеродом при обезуглероживании	калить с применением большей скорости охлаждения или же повысить температуру закалки на 20—50 °C выше предусмотренной технологическим режимом При глубине проникновения больше, чем припуск на шлифование, брак неисправим. Для предотвращения брака в печи создают контролируемую атмосферу; при ее отсутствии детали нагревают в ящиках с чугушной стружкой, древесным углем и др. В соляные ванны для предохранения от обезуглероживания добавляют молотый ферросилиций, буру, борную кислоту, желтую кровяную соль
Коробление (изменение формы)	Проверка бienia на центрах или щупом — на плите	Неправильное погружение изделия в охлаждающую среду; напряжения в изделии перед нагревом и др.	Брак исправимый. Для его исправления производят: правку в холодном или горячем состоянии; шлифовку, если коробление не превышает припуска на шлифовку. Для предотвращения брака необходимы замедленное охлаждение изделия в мартенситном интервале температур, правильное погружение в закалочную среду, равномерный нагрев
Деформация (изменение размеров)	Проверка размеров	Структурные превращения в интервале температур 650—500 °C и ниже 300 °C, вызывающие деформацию	Брак в основном неисправимый. Для предотвращения брака следует понизить температуру закалки, уменьшить скорость охлаждения, применить мелкозернистые и легированные стали
Разъедание (точечное или ручьеобразное) поверхности изделий	Осмотр изделия	Неравномерное образование окалины. Повышенное содержание сернистых солей и химическое действие хлористых солей в соляных ваннах. Соприкосновение с разлившимся по поду печи свинцом	Брак можно предотвратить тщательным контролем состава солей для нагрева, раскислением соляных ванн, засыпкой зеркала свинцовой ванны древесным углем, устранением окислительной атмосферы в печах, наблюдением за чистой подой печи

Характеристика брака	Метод определения
Повышенная твердость и низкие пластические свойства. Для быстрорежущей стали — пониженная твердость	Определение твердости
Пониженная твердость и низкие предел прочности и предел упругости	Определение прочности при растяжении и твердости
Низкая ударная вязкость после отпуска при 450—600 °С и медленного охлаждения (обратимая отпускная хрупкость)	Испытание на ударную вязкость

Основные причины брака

Основные мероприятия по предотвращению и исправлению брака

При отпуске

Пониженная температура или недостаточная выдержка

Повторный отпуск по предусмотренному технологическому режиму

Отпуск при температуре выше требуемой

Отжиг или нормализация, а затем закалка и отпуск по предусмотренному технологическому режиму

Диффузия растворенных атомов некоторых элементов (например, фосфора) к границам зерен и пересыщение поверхностных слоев этими элементами

Брак можно предотвратить охлаждением в воде или масле после отпуска при 450—600 °С, применением стали, содержащей молибден и вольфрам. Устранить брак можно повторным отпуском с охлаждением в воде или масле (температуру повторного отпуска следует повысить на 20—30 °С по сравнению с температурой первого отпуска)

каленных с температур ниже 1000 °С, производят одну-две легкие переполировки микрошлифа с дополнительным кратковременным травлением (5—7 с). После закалки с температур выше 1000 °С границы зерен хорошо выявляются без дополнительных переполировок. Электролитическое травление придает карбидам темную окраску, остальное поле шлифа остается светлым.

Травление микрошлифов 10 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте дает вполне удовлетворительные результаты для сталей марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФС и др. после закалки их с температур выше 1000—1050 °С. Травление производят в течение 30—60 с при комнатной температуре (до приобретения полированной поверхностью шлифа матового оттенка). В штамповых сталях, закаленных с температур ниже 1000 °С, границы зерен выявляются этим реактивом с большим трудом из-за протравливаемости всей структуры.

Вследствие высокой дисперсности структуры штамповых сталей балл аустенитного зерна обычно определяют при 500-кратном увеличении микроскопа с последующим переводом на балл зерна, отвечающий стандартному при 100-кратном увеличении (по ГОСТ 5639—82).

При некачественной упаковке для нагрева штампового инструмента под закалку или при нагреве в нераскисленной соляной ванне возможно обезуглероживание инструмента. Согласно ГОСТ 1763—68 контрольным методом выявления глубины обезуглероживания для всех сталей является цветное травление отожженных образцов 4 %-ным раствором азотной кислоты в метиловом спирте.

Глава 6

ПОВЕРХНОСТНАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ НАГРЕВЕ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ТВЧ)

Индукционная поверхностная закалка. Высокочастотная поверхностная закалка по сравнению с объемной обладает целым рядом преимуществ, к их числу относятся: высокая производительность; повышенные механические свойства закаленных поверхностей; практически полное отсутствие окисления и обезуглероживания поверхности; незначительное коробление деталей; образование в поверхностных слоях значительных сжимающих напряжений, повышающих усталостную прочность деталей; возможность регулирования толщины закаленного слоя; возможность механизации и автоматизации процесса закалки деталей и включения операций термической обработки в поток. Недостатком высокочастотной поверхностной закалки является необходимость изготовления индук-

торов для каждой детали, в связи с чем этот способ эффективен лишь в условиях крупносерийного и массового производства.

Особенностью высокочастотной закалки является чрезвычайно высокая скорость нагрева. Это определяет своеобразие фазовых превращений и изменения свойств закаленного слоя. Особенности фазовых превращений при индукционном нагреве сводятся к следующему:

превращения протекают практически одновременно во всем слое, соответствующем глубине проникновения тока, так как во всем этом слое к моменту закалки температура примерно одинакова. В результате уменьшается опасность перегрева и во всем закаленном слое создаются почти одинаковые структура и свойства стали;

при большой скорости нагрева фазовые превращения смещаются в область более высоких температур. При этом возможно смещение окончания превращения перлита в аустенит до температур, превышающих температуру полиморфного превращения структурно свободного феррита;

превращение перлита в аустенит происходит не при одной неизменной температуре A_{c1} , а в интервале температур тем больших, чем выше скорость нагрева. При этом начало превращений отмечается при температуре, намного превышающей A_{c1} , при которой создаются достаточные условия для возникновения и устойчивого существования зародышей аустенита;

если при медленном нагреве количество подаваемой теплоты равно или немного больше того, которое требуется для эндотермической реакции превращения перлита в аустенит, то при индукционном нагреве (т. е. внутренним источником) нет принципиальных затруднений, чтобы подать количество теплоты, значительно превышающее требуемое для превращения перлита в аустенит. Избыток подаваемой теплоты расходуется на быстрое повышение температуры нагреваемого металла.

В связи со своеобразием фазовых превращений при высокочастотной закалке мартенсит обычно имеет безыгольчатое или мелкоигольчатое строение. Большая скорость нагрева и незначительная выдержка определяют незавершенность диффузионных процессов, поэтому образующийся аустенит неоднороден в микрообъемах по содержанию углерода и легирующих элементов. Его превращение в мартенсит происходит в некотором диапазоне температур. При этом в микрообъемах с пониженной концентрацией углерода кристаллы мартенсита образуются раньше. При дальнейшем охлаждении у образовавшихся кристаллов мартенсита происходит выделение мелкодисперсных карбидов, что приводит наряду с возникновением повышенных внутренних напряжений к повышению твердости стали на HRC 2—6 по сравнению с ее твердостью после закалки при обычном медленном нагреве. На свойства слоя, закаленного с нагрева ТВЧ, большое влияние оказывают исходная структура стали и переходная зона, образующаяся при закалке. С целью получения высоких механических и эксплуатационных свойств деталей рекомендуется применять предварительную нормализацию или улучшение.

ние, а также обеспечивать достаточную толщину и прочность переходной зоны, включающей зоны неполной закалки и отпуска.

Наиболее эффективна дополнительная закалка с нагрева ТВЧ в том случае, когда требуются очень высокая прочность и износостойкость поверхностного слоя при достаточной прочности основы штампа. Штамп после обычной термической обработки на твердость HRC 36—42 подвергают дополнительной закалке в участках гравюры, наиболее подверженных износу. Эти участки нагревают с помощью индукторов, а закалка обеспечивается за счет интенсивного отвода теплоты в тело штампа. Отпуск после такой закалки производят только в том случае, если в процессе эксплуатации происходит отслаивание закаленного поверхностного слоя. Повышение твердости отдельных участков штампа вызывает понижение сопротивления хрупкому разрушению. Поэтому дополнительную закалку следует применять только для тех штампов, выход которых из строя связан лишь с пластической деформацией или истиранием.

Местный отпуск. Нагрев ТВЧ может быть использован не только для закалки, но и для местного отпуска закаленных обычным способом штампов. Наиболее рациональным является способ местного нагрева (рис. 6.1). В индукторе 4 размещают штамповую вставку или вкладыш 3 с зазором 5—10 мм. Затем на гравюру штампового вкладыша устанавливают холодильник 1, представляющий собой систему разветвленных в углублениях гравюры медных трубок, по которым циркулирует вода. Свободное пространство между трубками и гравюрой засыпают металлическим песком 2 с целью обеспечения теплоотвода от гравюры к холодильнику. Боковую поверхность и основание штампа

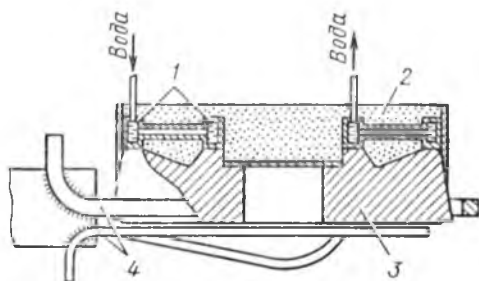


Рис. 6.1. Подготовка штампа к проведению местного отпуска с помощью нагрева ТВЧ

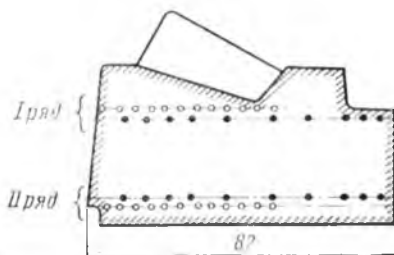
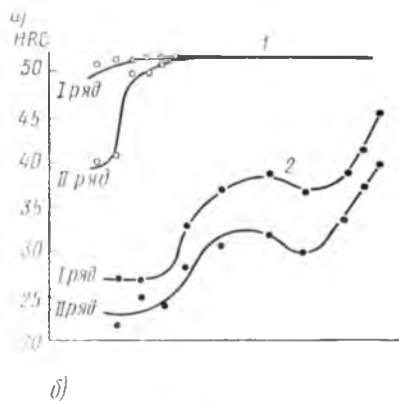


Рис. 6.2. Распределение твердости (а) по сечению штампового вкладыша (б) после местного отпуска:

1 — в режиме термоциклирования; 2 — при непрерывном нагреве

нагревают до температуры ниже критической точки A_{c1} . В результате такого отпуска тело штампа разупрочняется и приобретает высокое сопротивление хрупкому разрушению, а поверхностный слой, примыкающий к гравюре, остается закаленным, сохраняя высокую твердость.

Местный отпуск можно осуществить также при циклическом нагреве, т. е. последовательных включениях и выключениях тока в индукторе. На рис. 6.2, а, б приведены данные о распределении твердости по сечению вкладыша матрицы для штамповки полуосевой шестерни автомобиля МАЗ-200 (сталь 3Х2В8Ф). Местный отпуск в режиме термоциклирования обеспечивает более высокий уровень твердости в центре вкладыша и вблизи гравюры, чем при непрерывном нагреве.

Применение рациональных режимов местного отпуска позволяет в 4—6 раз повысить стойкость штампов (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Влияние местного отпуска при нагреве ТВЧ на стойкость вкладыша матрицы для штамповки полуосевой шестерни автомобиля МАЗ-200

Режим термической обработки	Режим местного отпуска	Стойкость, шт.	Преобладающий вид износа
Закалка 1150 °С, отпуск 650 °С, 2 ч	—	250	Смятие
Закалка 1150 °С, отпуск 600 °С, 2 ч	Термоциклирование: 12 циклов по 1 мин при 750 °С	260	Хрупкое разрушение (скалывание)
То же	Термоциклирование: 10 циклов по 30 с + 10 циклов по 10 мин при 780 °С	475	То же
»	Термоциклирование: 8 циклов по 20 с + 8 циклов по 40 с + 8 циклов по 1 мин при 820 °С	970	Истирание
»	Непрерывный нагрев в течение 20 мин при 840 °С	1610	Хрупкое разрушение (скалывание)
»	Непрерывный нагрев в течение 30 мин при 840 °С	645	Смятие

2. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Стойкость деформирующего инструмента в значительной мере определяется структурой и свойствами его поверхностных слоев, испытывающих наиболее интенсивные температурно-силовые воздействия в процессе эксплуатации. Поэтому химико-термическая обработка, сообщаящая поверхностным слоям ряд специфических свойств, является одним из эффективных способов повышения срока службы деформирующего инструмента. Для диффузионного упрочнения инструмента применяют как традиционные (цементация, азотирование, нитроцементация), так и более новые (хромирование, борирование, комплексное насыщение) методы химико-термической обработки.

Цементация — процесс диффузионного насыщения поверхности

стальных изделий углеродом при нагревании в соответствующей среде — карбюризаторе. Применяют цементацию для получения высокой поверхностной твердости, износостойкости и повышенной усталостной прочности. Эти свойства достигаются обогащением поверхностного слоя углеродом до эвтектоидной или заэвтектоидной концентрации и последующей термической обработкой, сообщающей поверхностному слою стальных изделий структуру мартенсита или мартенсита с карбидами и небольшим количеством остаточного аустенита. При этом в поверхностном слое возникают сжимающие напряжения.

Наиболее часто цементацию осуществляют в твердом или газовом карбюризаторе. Для цементации в твердом карбюризаторе изделия укладывают в цементационные ящики, заполненные карбюризатором, содержащим древесный уголь, Na_2CO_3 , CaCO_3 , BaCO_3 или другие компоненты. В процессе выдержки при температуре цементации происходит окисление углерода, содержащегося в карбюризаторе, кислородом воздуха с образованием оксида углерода CO . При высоких температурах оксид углерода неустойчив и при контакте с поверхностью изделия разлагается с выделением атомарного углерода. Углерод адсорбируется поверхностью стального изделия, находящейся при температуре процесса в аустенитном состоянии, и путем диффузии проникает в более глубокие слои. Глубина цементованного слоя пропорциональна продолжительности выдержки.

При газовой цементации изделия нагревают в газовой атмосфере, содержащей CH_4 , CO , H_2 , CO_2 , H_2O , N_2 . Науглероживание происходит в основном из-за реакции распада оксида углерода и метана при температуре цементации. Применение газовой цементации уменьшает длительность процесса для получения заданной глубины цементованного слоя, позволяет механизировать и автоматизировать процесс и упростить последующую термическую обработку.

Цементацию применяют в основном для штампов холодного деформирования (пробивных, вырубных, вытяжных матриц и пуансонов и др.). Инструменты из заэвтектоидных сталей (X, 9XC, XBГ) цементуют в твердом карбюризаторе при 900—910 °C в течение 8—12 ч. После замедленного охлаждения их нагревают для закалки до 800—810 °C, охлаждают под водовоздушным душем до 100—150 °C, а затем в масле. Отпуск осуществляют при 150—180 °C. Содержание углерода в поверхностном слое после цементации возрастает до 1,5—1,7 % при глубине зоны, обогащенной карбидами, 0,1—0,15 мм. Твердость достигает HRC 63,5—65. Штампы из высокохромистых сталей (X12M, X12F1) цементуют в твердом карбюризаторе при 980—1025 °C в течение 2—5 ч, закаливают в масле и отпускают при 150—180 °C. Содержание углерода в поверхностном слое после цементации увеличивается на 0,25—0,50 %, что приводит к повышению твердости. Однако прочностные характеристики и вязкость сталей при этом существенно (на 30—50 % и более) уменьшаются, что резко снижает эффективность такой обработки.

В последнее время находят все более широкое применение, в частности для инструментов холодного деформирования (вырубных, пробивных, вытяжных и др.), цементованные нержавеющей высокохромистые стали типа 2Х13. Их цементацию выполняют в твердом карбюризаторе при температуре 980—1000 °С в течение 6—8 ч. Последующая термическая обработка включает закалку с температуры 940—960 °С и отпуск при 180—200 °С.

Азотирование — процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных изделий азотом при нагревании их в среде, содержащей аммиак. Изделия азотируют для повышения поверхностной твердости и износостойкости или защиты их поверхностей от коррозии. В связи с тем что при азотировании на поверхности возникают остаточные напряжения сжатия, повышается усталостная прочность азотируемых изделий. Твердость азотированного слоя значительно выше цементованного и сохраняется при нагреве до высоких температур, тогда как твердость цементованного слоя, имеющего структуру мартенсита с карбидами, снижается. Структура, глубина и свойства азотированного слоя зависят как от химического и фазового состава сталей, так и режимов азотирования, определяемых тремя основными параметрами: температурой процесса, степенью диссоциации аммиака и продолжительностью выдержки.

Аммиак при нагреве диссоциирует с образованием атомарного азота. Степень диссоциации аммиака при температуре 500—520 °С составляет 15—25 %, при 600—650 °С — 40—60 %. Образовавшийся атомарный азот диффундирует в железо.

Легирующие элементы (алюминий, хром, молибден, вольфрам и др.), образующие в стали мелкодисперсные нитриды, значительно повышают твердость азотированного слоя и одновременно уменьшают его глубину. С повышением температуры скорость диффузии азота резко увеличивается. Это обеспечивает получение более глубокого слоя за то же время. Однако при этом может произойти снижение поверхностной твердости и прочности слоя вследствие коагуляции образующихся нитридов и появления грубых нитридных прожилок в виде сетки. Обычно для штамповых сталей температуру азотирования выбирают в пределах 500—580 °С. Для уменьшения продолжительности процесса применяют двухступенчатый режим азотирования. На первой ступени устанавливают относительно невысокую температуру (510—530 °С) и получают неглубокий хорошо насыщенный азотом слой. На второй ступени температуру азотирования повышают до 560—580 °С, вследствие чего ускоряется диффузия азота и быстрее обеспечивается требуемая глубина слоя.

Азотирование штампового инструмента может быть как окончательной операцией — после отпуска и шлифования, так и предварительной — перед закалкой. Окончательную операцию азотирования чаще применяют для теплостойких штамповых сталей, например Х6ВФ, Х12М для холодной и 4Х5В2ФС, 3Х2В8Ф для горячей штамповки, сохраняющих достаточно высокую твердость после нагрева до 500—580 °С. В зависимости от состава и структурно-

го состояния эти стали после азотирования имеют различные твердость и глубину слоя.

Азотирование как окончательную операцию применяют для штампов холодной штамповки, вытяжки и обрезных штампов, работающих с небольшими динамическими нагрузками; для валов и накатных инструментов; для штампов горячего деформирования, работающих при повышенном износе.

Режимы азотирования, приведенные в табл. 6.2, прошли промышленное опробование для штампов широкой номенклатуры. Например, молотовые штампы из стали марки 5ХНВ после азотирования имели стойкость до 14 000 поковок; стойкость таких штампов без азотирования не превышает 5000 поковок. Особенно высока эффективность азотирования для тяжело нагруженных штампов выдавливания в разъемных матрицах. При внедрении этого прогрессивного метода штамповки удовлетворительную стойкость штампов удалось обеспечить только за счет применения азотирования по режимам, приведенным в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Рекомендуемые режимы азотирования штамповых сталей для горячего деформирования

Марка стали	Предварительная термическая обработка	Режим азотирования			Глубина слоя, мм	Микротвердость НВ
		температура, °С	выдержка, ч	степень диссоциации аммиака, %		
5ХНМ, 5ХНВ, 7Х3, 8Х3, 4ХМФС, 5Х2ВМНФ	Закалка и отпуск, HRC 34—45	480—500	50	25—40	0,35—0,5	650—750
4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С	Закалка и отпуск, HRC 48—54	540—560	15—20*	40—60	0,15—0,25	750—900
4Х2В5МФ, 3Х2В8Ф, 4Х4ВМФС, 4Х2В2МФС, 5Х3В3МФС	Закалка и отпуск, HRC 45—52	560—580	8—12*	50—80	0,2—0,3	750—850

* После окончания процесса рекомендуется выдержка при такой же температуре и 100 %-ной диссоциации аммиака в течение 2—3 ч.

Применяемые на практике технологические режимы азотирования могут существенно отличаться от указанных. Например, на ряде автомобильных заводов штампы КГШП из стали марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х3ВМФ и 3Х3М3Ф после закалки и отпуска на твердость HRC 44—50 подвергают азотированию по режиму: нагрев до температуры 510—520 °С, выдержка 30—40 ч, степень диссоциации аммиака 25—30 %; нагрев до температуры 550—560 °С, выдержка 15—20 ч, степень диссоциации аммиака 40—50 %. Стойкость штампов за счет применения такого режима азотирования увеличивается в 1,5—2 раза.

Предварительное азотирование штамповых сталей (пе-

ред закалкой) имеет ряд преимуществ по сравнению с азотированием после окончательной термической обработки: толщина слоя увеличивается, что создает более плавный переход твердости от поверхности к нижележащим слоям (ср. рис. 6.3, а, б и в, г) и снижает хрупкость слоя; прочность и вязкость стали на 20—30 % выше.

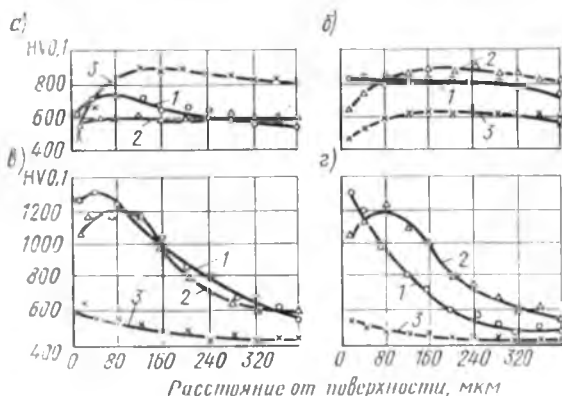


Рис. 6.3. Микротвердость штамповой стали марок 3Х2В8Ф (1), 5ХЗВЗМФС (2) и 5ХНМ (3) после: а — азотирования и закалки; б — азотирования, закалки и отпуска; в — закалки и азотирования; г — закалки, отпуска и азотирования

Твердость и теплоустойчивость слоя, полученного после предварительного азотирования и последующей закалки, ниже, чем у слоя, азотированного после отпуска. Более высокая твердость достигается при получении толщины не менее 0,3—0,5 мм. Для этой цели азотирование отожженной стали необходимо проводить при температурах 540—600 °С.

Азотирование перед закалкой применяется для менее теплоустойчивых штамповых сталей холодного и горячего деформирования, закаливаемых с пониженных температур (до 950—1000 °С) и имеющих минимальные объемные изменения при закалке (5ХНМ, 7ХГ2ВМ и др.). Оно целесообразно для штампов сравнительно простой конфигурации, работающих в условиях динамического нагружения, не требующих доводки (шлифования) после термической обработки.

Цианирование и нитроцементация. Диффузионное насыщение стальных изделий одновременно углеродом и азотом в газовой среде называется нитроцементацией, а в расплаве, содержащем цианистые соли, — цианированием. Различают высокотемпературный и низкотемпературный процессы нитроцементации и цианирования. При высокотемпературных процессах содержание азота в диффузионном слое невелико. Максимальное насыщение поверхностного слоя стали углеродом достигается при различных температурах в зависимости от науглероживающей способности среды. Азот, диффундируя в сталь вместе с углеродом, оказывает существенное влияние на степень насыщения поверхностного слоя углеродом и на глубину диффузии углерода. Азот способствует интенсивному науглероживанию стали при более низких температурах, чем при цементации. При чрезмерном насыщении стали азотом и образовании в поверхностном слое карбонитридных фаз азот может затруднять диффузию углерода в сталь. Обычно процесс на-

сыщения имеет две различные по кинетике стадии. На первой стадии сталь насыщается азотом и углеродом одновременно. На второй стадии при продолжающемся насыщении углеродом происходит десорбция азота, т. е. переход части адсорбированных атомов азота с поверхности металла в газовую среду. С повышением температуры увеличивается содержание углерода и уменьшается содержание азота в диффузионном слое.

Низкотемпературное цианирование и нитроцементацию проводят при температурах 500—580 °С. Процесс азотирования при этих температурах протекает более интенсивно, чем процесс цементации. Углерод проникает на глубину, не превышающую нескольких микрон; в слое этой глубины образуется тонкая карбонитридная зона. Поверхностная твердость (при комнатной и повышенных температурах), теплоустойчивость и разгаростойкость цианированного слоя почти одинаковы с азотированным. Поэтому низкотемпературное цианирование более эффективно, чем азотирование для инструментов, работающих в условиях ударного нагружения. Его целесообразно применять для штампов холодной штамповки, вытяжных и обрезающих штампов, вальцов и накатных инструментов, изготавливаемых из сталей типа Х6ВФ, Х12М и др.; для штампов горячего деформирования, изготавливаемых из сталей типа 4Х5МФС, 4Х4ВМФС и др. Как правило, цианирование инструмента производят после закалки и отпуска. Штампы для холодного деформирования цианируют при температуре 500—520 °С на глубину 0,02—0,07 мм, а штампы для горячего деформирования — при температуре 550—580 °С на глубину 0,1—0,2 мм. Рациональные режимы низкотемпературного цианирования и нитроцементации ряда широко распространенных штамповых сталей представлены в табл. 6.3.

Борирование — процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев изделий из металлов и сплавов бором при нагревании в соответствующей борсодержащей среде. Из всех видов химико-термической обработки борирование позволяет получить наиболее высокую микротвердость поверхности изделий. Для борированных слоев характерна высокая износостойкость, повышенная коррозионная стойкость, возможность сохранения высокой твердости при нагреве.

Необходимым условием формирования диффузионного слоя является наличие у насыщаемой поверхности активного атомарного бора; кроме того, температура и продолжительность выдержки должны обеспечить протекание диффузии атомарного бора в стали с образованием химических соединений — боридов железа. Борирование стали типа 5ХНМ приводит к получению диффузионного слоя, состоящего из четырех зон (от поверхности): высшего бориды железа FeB в виде сплошного или несплошного игольчатого слоя; низшего бориды Fe₂B в виде сплошного игольчатого слоя; выделений «боридного цементита» — фазы состава Fe₃ (B, C), т. е. твердого раствора бора в карбиде железа, являющийся результатом оттеснения углерода в процессе борирования вглубь металла; зоны диффузии бора. У высоколегированной стали типа 5Х3ВЗМФС

Т а б л и ц а 6.3. Режимы цианирования штампового инструмента

Марка стали	Темпера- тура, °C	Продол- житель- ность, ч	Диффузионный слой	
			глубина, мм	микротвердость HV
В расплаве 50 % KCN+50 % NaCN				
3Х2В8Ф	560	2	0,09	980—660
5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС,				
5ХГМ	560	2	0,2—0,25	570—350
4ХМФС	560	2	0,05	860—760
5Х2МНФ	560	2	0,05	830—620
4Х5В2ФС, 4Х5МФС,				
4Х5МФ1С	560	2	0,06	710—600
4Х3ВМФ	560	2	0,06	930—740
3Х3М3Ф	560	2	0,15	1200—970
4Х4ВМФС	560	2	0,03—0,04	830—680
4Х2В5МФ	560	2	0,03—0,04	830—680
4Х2В2МФС	560	2	0,09	615—535
5Х3В3МФС	560	2	0,07	940—860

В смеси саратовского газа и аммиака

4ХМФС, 5Х2МНФ,				
4Х5В2ФС, 4Х5МФС,	580	8	0,23—0,27	900—660
4Х5МФ1С				
4Х3ВМФ	580	8	0,25—0,30	790—600
3Х3М3Ф	580	8	0,25—0,30	1200—825
4Х4ВМФС	580	8	0,18—0,20	980—680
4Х2В5МФ, 4Х2В2МФС	580	8	0,20—0,25	740—640

четвертая и третья зоны практически отсутствуют. При их борировании у поверхности возникает сплошной слой борида железа. Борирование таких штамповых сталей при температуре 950 °С в течение 10 ч приводит к формированию на их поверхности боридных покрытий глубиной 40—50 мкм. Непосредственно между боридными иглами и под ними расположена зона, представляющая собой смесь α -фазы с включениями мелких карбидов; за ней расположен слой скоагулированных карбидов, имеющих достаточно четкую границу раздела. Далее следует сорбитообразная зона глубиной до 0,65 мм с включениями мелких карбидов, переходящих в структуру основного металла. Аналогичное строение имеет диффузионный слой борированной стали 3Х2В8Ф.

Борирование можно осуществлять различными способами: в порошках, в газовой и жидкой среде. При борировании в порошках в качестве насыщающей среды можно использовать порошки различных борсодержащих веществ: аморфного бора, карбида бора, ферробора, ферроборала, никельбора и их смеси.

Достоинством этого способа является простота технологии процесса. К недостаткам следует отнести малую производительность, высокую трудоемкость подготовительных работ, низкую теплопроводность и гигроскопичность насыщающих смесей, высокую стоимость борсодержащих порошков. Это и определяет ограниченное

промышленное применение процесса борирования в порошках. Столь же ограниченно применяется и борирование в газовой среде. Это связано с взрывоопасностью применяемых для этой цели газовых смесей.

Наиболее распространено жидкостное электролизное борирование. Его производят в расплавленной буре или в смеси буры с поваренной солью. Активные атомы бора при электролизном борировании образуются при пропускании через расплав буры электрического постоянного тока. Насыщаемые бором детали подключают в цепь электролиза в качестве катода; анодом обычно служат графитовые (угольные) стержни. Электролизное борирование осуществляют при температурах 900—980 °С. Продолжительность выдержки 2—5 ч. При этом обеспечивается получение слоя глубиной 0,16—0,28 мм, обладающего высокой твердостью, плотностью и износостойкостью.

Борирование целесообразно применять для штампов, работающих при повышенном износе без ударных нагрузок и имеющих относительно простую конфигурацию (из-за возможного скалывания боридного слоя в углах и участках резкого перехода сечений). Обычно это стали для штампов холодного и горячего деформирования марок ХВГ, 9ХС, Х6ВФ, 7ХЗ, 5ХНМ и 4Х5МФС.

Борированные изделия подвергают термической обработке, назначение которой — измельчение зерна, уменьшение неоднородности структуры переходной зоны и изменение характера распределения остаточных напряжений, возникших при охлаждении с температуры борирования, по сечению изделий. Зачастую применяют упрочняющую обработку, включающую либо закалку со сквозным прогревом, либо закалку с нагрева ТВЧ. Наилучшим вариантом закалки со сквозным прогревом борированных изделий является изотермическая, сопровождающаяся наименьшей деформацией и не вызывающая разрушения и скалывания борированного слоя. Следует иметь в виду, что закалка борированных высоколегированных штамповых сталей с температур 1150 °С для стали марки 5ХЗВЗМФС и 1100 °С для стали марки 3Х2В8Ф приводит к оплавлению боридного слоя с образованием эвтектики. Установлено, что началу оплавления соответствует температура 1070—1100 °С. Поэтому нагрев под закалку после борирования этих сталей следует проводить до более низких температур.

Хромирование — процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий хромом при температурах 900—1200 °С в соответствующей среде. Наиболее распространено хромирование в порошках и обмазках. В результате хромирования повышается устойчивость стали против газовой коррозии (до температуры 800 °С), коррозионная стойкость при комнатной температуре, твердость и износостойкость изделий, их разгаростойкость. Хромированный слой обычно состоит из двух структурных зон:

карбидной, образующейся в результате встречной диффузии карбидообразующего элемента (хрома) из насыщающей смеси и углерода из насыщаемой стали. Эта зона содержит все три карбида хро-

ма (Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 и Cr_3C_2) и имеет вид тонкой сплошной корочки глубиной до 25 мкм, микротвердость которой HV0,1—1200—1800 (в зависимости от структурного состояния насыщаемой поверхности);

α -фазы — стабильного высоколегированного твердого раствора хрома в железе, образующейся в результате замыкания хромом γ -области железа. Эта зона практически не содержит углерода (он продиффундировал в карбидную зону) и состоит из столбчатых крупных ферритных кристаллов, обладающих повышенной микротвердостью (до HV0,1—800).

Легирующие элементы увеличивают или уменьшают глубину хромированного слоя в основном в зависимости от их влияния на положение границ области аустенита в системе железо — легирующий элемент. Молибден, вольфрам, кремний, ванадий и другие элементы, выклинивающие эту область, увеличивают глубину слоя; никель и марганец, расширяющие ее, действуют в противоположном направлении. Наиболее существенное влияние на глубину и твердость диффузионного слоя оказывает углерод. С повышением его содержания в стали увеличивается концентрация хрома в поверхностном слое, возрастает твердость и одновременно уменьшается глубина. Поэтому предварительная цементация штамповых сталей (5ХНМ, 4Х5МФС, 3Х2В8Ф) обеспечивает увеличение карбидной фазы и микротвердости хромированного слоя до HV0,1—1800—2000. Последующая термическая обработка не вызывает заметных изменений в структуре диффузионного слоя. В незначительной мере наблюдается лишь уменьшение зоны α -твердого раствора.

Свойства поверхностного слоя и прежде всего его износостойкость после хромирования и карбохромирования определяются в первую очередь составом упрочненного слоя. Это подтверждается результатами испытаний на изнашивание карбохромированной стали в условиях малых контактных давлений (до 10 МПа).

Диффузионное хромирование штамповой стали приводит к существенному изменению в характере разгараобразования при эксплуатации штампов в условиях термоциклирования. Оно ускоряет начало образования трещин, увеличивает их число, но вместе с тем многократно уменьшает глубину проникновения трещин. Число образующихся трещин, их развитие и размеры определяются структурным и напряженным состоянием поверхностных слоев материала.

Диффузионное хромирование чаще всего применяют для теплоустойчивых штамповых сталей: 4Х5МФС, 4Х4ВМФС — температуры аустенитизации этих сталей совпадают с температурами хромирования, кроме того, эти стали имеют минимальные объемные изменения при закалке. К числу инструментов, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию высоких температур, изнашиванию и эрозии, относятся матрицы и пуансоны для горячего выдавливания и высадки и др. Стойкость хромированного инструмента увеличивается в 2—4 раза.

3. НАПЛАВКА

Наплавка является одним из наиболее эффективных методов восстановления штампов. При правильно выбранном составе наплавляемого металла этот метод позволяет не только восстанавливать инструмент (что в несколько раз увеличивает его полную стойкость), но и повышать его промежуточную стойкость. Легированием с помощью электродной проволоки, покрытий, флюсов, компонентов порошковой проволоки и т. д. в поверхностном слое может быть получена сталь любого состава. При этом возможно изготовление не только двухслойных, но и многослойных заготовок штампов различного назначения. Благодаря широкому варьированию химического состава поверхностных слоев и возможности получения высокой твердости наплавленного слоя можно упростить технологию последующей термической обработки, а в случае необходимости исключить ее из технологического процесса изготовления штампов. Применение наплавки штампов позволяет экономить штамповую сталь.

К металлу, наплавленному на штампы, предъявляют те же требования, что и к обычным штамповым материалам: достаточно высокие теплостойкость, износостойкость, разгаростойкость и др. Кроме того, предъявляют и ряд требований технологического и экономического характера: достаточную технологичность в процессе наплавки, хорошую обрабатываемость при изготовлении и отделке гравюры, возможность исключения термической обработки после наплавки, отсутствие дефицитных легирующих элементов и т. д.

Наибольшее распространение получила ручная электродуговая наплавка. В табл. 6.4 представлены химический состав и твердость металла, полученного в результате наплавки штампов электродами различных марок. Электроды, применяемые для наплавки штампов, в зависимости от системы легирования можно разделить на шесть групп. Электроды групп I и II позволяют получать достаточно высокую износостойкость рабочей поверхности при эксплуатации штампов до температуры 400 °С и не содержат большого количества вольфрама и других дефицитных легирующих элементов. Основу легирования электродов этих групп составляют хром и марганец. Хром образует прочные карбиды, оказывает заметное влияние на дисперсность получаемой структуры, повышает твердость, прочность и сопротивление износу. Марганец наиболее значительно повышает твердость и прочность наплавляемого металла. Стимулирующее влияние марганца на рост зерна ослабляется хромом.

Металл, наплавленный электродами I группы, имеет низкое содержание углерода и легирующих элементов, поэтому его твердость после наплавки невысока (кроме ЦН-4). Штампы после наплавки и отпуска удовлетворительно обрабатываются резанием. Основные области применения этих электродов — восстановление малонагруженных молотовых и высадочных штампов, а также наплавка подслоя под более легированные и дорогие электроды.

Таблица 6.4. Химический состав и твердость наплавленного металла (во 2—3-м слое)

Группа	Марка электрода	Химический состав, % (средний)										Твердость HRC
		C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	другие элементы	
I	ОЗШ-1	0,18	1,2	1	1	—	—	0,8	—	—	—	34—40
	ОЗШ-1В	0,16	1,2	1,6	1,1	—	—	0,8	—	—	—	32—37
	ЦШ-4	0,32	0,3	6	—	—	—	—	—	—	—	45—50
	ЦШ-2	0,45	0,2	2	1	0,4	—	—	—	—	—	<40
	ЦШ-4	0,5	—	0,2	—	1,1	—	—	—	—	—	<32
II	ЭН-60М	0,8	1,1	0,8	2,8	—	—	0,5	—	—	—	53—60
	ЦШ-3	0,7	—	0,4	3	—	—	—	—	—	—	<50
	Ш-7	0,6	0,2	0,3	2,3	—	—	—	—	—	—	50—54
III	УОНИ-13/НЖ	0,22	0,7	0,7	12	—	—	—	—	—	—	45—51
	ЭЖ-3	0,35	0,6	0,6	12	0,6	—	—	—	—	—	<49
	НЖ-3	0,35	2	2	12	—	—	—	—	—	—	46—51
	2Х13	0,2	0,5	0,5	13	0,6	—	—	—	—	—	<50
	Ш-16	0,35	1,3	0,45	12	3	—	—	0,8	—	—	38—44
IV	Т-546А	1,25	1	0,4	7	—	—	—	—	—	1,3 Ti	52—56
	Т-540	1,6	—	—	8	—	—	—	—	—	0,3 Ti	45—50
	Т-590	3,2	2,2	1,2	25	—	—	—	—	—	1,5 В	58—62
	Т-620	3,2	2,2	1,2	23	—	—	—	—	—	1,2 Ti, 1В	57—60
	ЦС-1	3	3,5	1,5	28	4	—	—	—	—	—	48—54
V	ЦШ-1	0,3	0,2	0,4	3	—	7,7	—	—	—	—	43—49
	ЦИ-1М	0,75	0,4	0,4	4,2	—	18	—	1,2	—	—	48—52
	ЦИ-2У	0,9	0,45	0,45	4,3	—	9	—	2,3	—	—	48—52
	ОЗИ-1	0,8	0,4	0,7	4,6	—	17	—	1,2	—	—	52—58
	ОЗИ-2	0,6	0,3	0,5	2,5	—	10	—	0,6	—	—	54—58
VI	ОЗИ-3	0,8	—	—	3,6	—	1,2	3,5	1,0	—	—	55—60
	ВСН-6	—	0,4	0,65	15	—	13	—	1,7	—	—	45—57
	ОЗИ-4	<0,1	1,3	0,1	3	—	6,5	5	0,8	15	—	38—45
	ОЗИ-5	<0,1	1	0,5	2	—	10	9	0,8	18	—	50—55

Металл, наплавленный электродами II группы, имеет повышенное содержание углерода и хрома. Твердость после наплавки превышает HRC 50, поэтому наплавленные штампы отжигают (температура отжига от 740 до 860 °С, твердость после отжига HRC 21—28). После обработки резанием производят закалку с отпуском (температура закалки 780—900 °С, температура отпуска 200—400 °С, твердость HRC 50—58). Electroды II группы применяют для восстановления средненагруженных крупных молотовых и прессовых штампов. Electroды I и II групп имеют хорошие сварочно-технологические свойства и низкую стоимость; эксплуатационные свойства наплавленного ими металла приближаются к свойствам среднелегированной штамповой стали марок 5ХНМ, 5ХНВ, 7Х3 и т. д.

Electroды III группы обеспечивают получение высоколегированного наплавленного металла с повышенным содержанием хрома. Основное назначение — наплавка режущих кромок обрезных штампов. Твердость штампов после наплавки электродами III группы высокая, поэтому их следует отжигать (температура нагрева под отжиг 860 °С, твердость после отжига HRC 15—18). После обработ-

ки резанием эти штампы подвергают закалке и отпуску (температуры нагрева под закалку и отпуск соответственно 860 и 400 °С, твердость после отпуска HRC 44—48). Электроды III группы также обладают высокими сварочно-технологическими свойствами; стоимость их сравнительно невелика. Основное отличие наплавленного ими металла — повышения износостойкости при нагреве.

Электроды IV группы применяют лишь для наплавки участков штампов, работающих с повышенным износом и без ударных нагрузок (штампы выдавливания и вытяжки на гидравлических прессах и т. п.). Эти электроды склонны к образованию трещин, поэтому наплавку производят не более чем в 1—2 слоя. Наплавленный металл не поддается отжигу, поэтому его можно обрабатывать только абразивным инструментом или электрофизическими методами. Из-за повышенной хрупкости и склонности к выкрашиванию наплавленного металла в процессе эксплуатации эти электроды можно рекомендовать лишь для наплавки штампов малоответственных подготовительных переходов и заготовительных ручьев.

Электроды V группы применяют для изготовления наплавленных штампов горячего деформирования широкой номенклатуры в тех случаях, когда преследуют цель повышения их стойкости. Электроды марок ЦШ-1, ЦН-2У и ОЗИ-2 обеспечивают получение высоколегированного (с повышенным содержанием вольфрама) наплавленного металла, близкого по составу к стали марки 3Х2В8Ф, электроды марок ЦН-1М и ОЗИ-1 — к стали марки Р18. Наилучшие сварочно-технологические и эксплуатационные свойства наплавленного металла обеспечивают электроды марки ОЗИ-3: теплостойкость достигает 750 °С, а стоимость вследствие низкого содержания вольфрама ниже, чем у электродов других марок этой группы. Технологический процесс изготовления наплавленных штампов состоит из подготовки заготовок, их подогрева до температур 300—600 °С, наплавки и замедленного охлаждения. Затем производят отжиг при температурах 860—900 °С (твердость после отжига HRC 23—33), обработку резанием и закалку с отпуском (температура нагрева под закалку от 850 до 1280 °С, температура отпуска от 520 до 650 °С, твердость после отпуска HRC 40—60). В тех случаях, когда предприятие располагает оборудованием для шлифования или обработки штампа электрофизическими методами, из всех видов термической обработки производят только отпуск при температурах 500—700 °С, сохраняя высокую твердость наплавленного металла.

Особые свойства имеет металл, наплавленный электродами марки ВСН-6. Он, так же как и металл, наплавленный электродами IV группы, не смягчается при отжиге и обладает очень высокими износостойкостью и хрупкостью.

Электроды VI группы обеспечивают получение наплавленного металла с интерметаллидным упрочнением и очень высокой теплостойкостью (до 750—800 °С — ОЗИ-4 и до 800—850 °С — ОЗИ-5). Рекомендуемая технология изготовления штампов при применении электродов VI группы представляется в следующем виде: наплавка,

обработка резанием (ОЗИ-4) или шлифованием (ОЗИ-5) и отпуск при 600—650 °С. Твердость наплавленного металла после такой обработки составляет HRC 52—56 (ОЗИ-4) и HRC 62—63 (ОЗИ-5). Применяют электроды VI группы для наплавки штампов объемной штамповки и выдавливания жаропрочных сталей и сплавов на механических и гидравлических прессах, для вальцовки, полугорячего выдавливания и др.

Широкое распространение получила механизированная электродуговая наплавка. Для наплавки штампового инструмента, имеющего малую длину образующей, например пресс-шайб и матриц, применение наплавки по винтовой линии не оправдывает себя. Для пресс-шайб рекомендуется многорядная наплавка кольцевыми швами со смещением электрода на шаг наплавки после каждого оборота детали.

Внутреннюю поверхность прессовых втулок массой до 1,5 т наплавляют порошковыми самозащитными проволоками марок ПП-3Х4ВЗФ-0, ПП-АН130, ПП-АН122 и др. Технологический процесс состоит из следующих операций: обработка резанием с полным удалением разрушенного рабочего слоя, предварительный подогрев в печи до температуры 300—350 °С, наплавка, охлаждение со скоростью до 25 град/ч, обработка резанием. Для ремонта принимают втулки, у которых необходимо восстановить рабочий слой толщиной не более 5—6 мм на сторону. Прогретую в печи втулку устанавливают на станок типа Р-922М конструкции ИЭС им. Е. О. Патона; стол станка располагают так, чтобы наплавляемая поверхность была в горизонтальном положении, и производят наплавку по спирали в 2—3 слоя, перекрывая предыдущий слой.

Режим наплавки зависит от внутреннего диаметра втулки. наилучший режим наплавки втулки пресса силой 15 000 кН (диаметр внутренней поверхности 185 мм, длина втулки 750 мм): сила тока 350—380 А, напряжение дуги 24—26 В, скорость наплавки 22 м/ч, шаг наплавки 8 мм, вылет электрода 30—35 мм, ток постоянный обратной полярности. Стол станка постоянно наклонен на 10—12°, и наплавку начинают с нижней части втулки. Для уменьшения внутренних напряжений втулку после наплавки устанавливают в печь, подогревают до 450—480 °С и охлаждают вместе с печью. В результате наплавленный металл имеет твердость HRC 40—46. При строгом соблюдении технологии наплавки втулки можно восстанавливать 5—7 раз. Долговечность восстановленных наплавкой втулок в 1,5—2 раза превышает долговечность новых втулок из стали 5ХВН.

Наряду с электродуговой наплавкой все более широкое распространение для упрочнения штамповых инструментов (в основном для горячего деформирования) получает плазменная металлизация. Для ее осуществления чаще всего используют порошки сплавов на основе никеля с содержанием углерода до 1 %, дополнительно легированных бором, хромом, кремнием и алюминием (например, ПГ-СР3 и ПГ-СР4). Присадка бора и кремния обеспечивает сплаву самофлюсующие свойства и повышает его жидкотекучесть.

куность, что увеличивает плотность напыленного металла. Однако непосредственно после напыления плотность слоя и прочность сцепления его с основным металлом недостаточны. Поэтому проводят последующее оплавление напыленного слоя кислородно-ацетиленовым пламенем или в печах. При этом прочность сцепления его с основным металлом возрастает с 10—20 до 700 МПа и достигает значений, получаемых при электродуговой наплавке. Рекомендуемая толщина напыленного слоя 0,8—0,9 мм, а после оплавления и обработки резанием — 0,4—0,5 мм. После напыления инструмент подвергают закалке и отпуску по режимам, рекомендуемым для основного металла (обычно сталей 5ХНМ и 5ХНВ). Твердость металлизированного слоя при этом не изменяется и составляет HRC 46—49 (при напылении сплавом ПГ-СР3) и HRC 51—56 (при напылении сплавом ПГ-СР4). Слой обладает высокой теплостойкостью и сохраняет твердость не менее HRC 40 при нагреве до 900 °С. Такую технологию целесообразно применять для инструментов высокоскоростной штамповки, инструментов горячего прессования, вальцовки и т. п., которые выходят из строя преимущественно вследствие износа истиранием. Стойкость их после такой обработки увеличивается в 2—3 раза.

Глава 7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТАМПОВ

1. ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР) В КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ускоренный темп роста машиностроительной промышленности и связанное с ним увеличение номенклатуры изготавливаемых изделий, необходимость быстрого освоения выпуска большого числа новых поковок и штампованных деталей требуют коренного изменения системы технологической подготовки штамповочного производства.

Технологический процесс штамповки и конструкцию штампа должны разрабатывать специалисты высокой квалификации. Разработки эти настолько трудоемки, что в среднесерийном и особенно в мелкосерийном производстве часто приходится отказываться от разработки подробных технологических процессов и оснастки. Поэтому технико-экономический уровень технологии на заводах с мелкосерийным и единичным производством значительно ниже, чем на заводах с крупносерийным или массовым производством.

Применение ЭВМ позволяет рассчитать все параметры технологического процесса и конструкции штампа с помощью научно обоснованных методик и сложных формул, которые трудно применимы при неавтоматизированном проектировании, а также за небольшой промежуток времени просчитать десятки, а если необходимо, и сотни различных вариантов.

Основная цель создания САПР — значительное повышение эффективности труда инженера (снижение временных затрат, повы-

шение качества проектируемой продукции). Эффективность САПР повышается при использовании экономико-математических моделей и методов оптимизации, позволяющих решать с помощью ЭВМ задачу выбора оптимального сочетания параметров процесса штамповки и штампов с учетом оптимальной загрузки оборудования. САПР позволяют широко использовать нормативные, стандартные и справочные данные.

Автоматизация технической подготовки производства дает существенный технико-экономический эффект, который выражается в снижении трудоемкости и себестоимости продукции, улучшении ее качества, экономии материалов благодаря:

- сокращению сроков проектирования, что снижает степень морального старения объекта и затраты на его дальнейшую модернизацию;

- возможности решения таких сложных задач проектирования, которые невозможно выполнять вручную;

- улучшению качества проектирования, практически исключаящего ошибки;

- улучшению технико-экономических показателей в рекомендуемом варианте (конструкции, процессе и т. п.). Применение экономико-математических методов моделирования позволяет полнее предсказывать технико-экономические характеристики проектируемых объектов, исследовать проектируемый процесс или конструкцию, быстро проверять предлагаемые гипотезы и решения, оценивать и изменять их и в самое короткое время выполнять достаточно большое число циклов проектирования. В результате выбирается оптимальное или близкое к оптимальному решение, ускоряется запуск технологических процессов и штампов в серийное и массовое производство, во многих случаях исключается необходимость экспериментальной доводки штампов;

- отказу от материальных носителей информации (мастер-моделей, мастер-макетов, шаблонов, плазов и др.) о деталях сложной формы, которые заменяют математическими моделями;

- использованию выходных данных САПР для изготовления оснастки на оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ), что повышает уровень технологии и сглаживает различия в изготовлении опытных и серийных изделий, снижает стоимость изготовления штампов и инструмента (например, электродов для электрон스크овой обработки), высвобождает большое число рабочих инструментально-штамповочного производства, обеспечивает переход к гибкому автоматизированному производству;

- применению автоматизированных систем поиска информации, что повышает коэффициент использования унифицированных и нормализованных деталей, сокращает потребность в специнструменте и приспособлениях.

В системах автоматизированного проектирования учитываются специфические особенности производства в отрасли. Так, САПР, предназначенные для предприятий с единичным и мелкосерийным производством, решают главным образом задачу ускорения техно-

логической подготовки производства, так как на указанных предприятиях в связи с большой номенклатурой изделий постоянно имеется большой объем проектных работ. Поэтому в таких САПР широко применяют метод поиска проективных — использование информационно-поисковых систем, позволяющих по заданным характеристикам найти типовой или групповой технологический процесс и оснастку (из имеющейся в памяти ЭВМ номенклатуры процессов и оснастки) и осуществить их доводку с учетом конкретных условий. При этом часто проводят усечение имеющегося в памяти ЭВМ процесса на комплексную деталь, в которой соединены все возможные элементы и их сочетания для выбранного класса деталей. Групповой технологический процесс для комплексной детали представляет собой список технологических операций (технологический маршрут) с закрепленным за каждой из них оборудованием и оснасткой. Технологический процесс для каждой конкретной детали, принадлежащей данной группе, определяется выбором из группового технологического процесса операций, необходимых для изготовления этой детали. При выборе операций используют формализованные правила (условия), устанавливающие соответствие технологических, конструктивных и производственных параметров детали, с одной стороны, и операций технологического процесса, размеров и типов оснастки — с другой.

На предприятиях с массовым и крупносерийным производством повышаются требования к качеству проектного решения. Даже незначительное уменьшение, например, расхода металла или трудозатрат в одном технологическом процессе дает большой экономический эффект за счет массового применения проектируемого процесса при изготовлении сотен тысяч и миллионов деталей. При этом в САПР необходимо индивидуальное проектирование (синтез) технологического процесса и оснастки применительно к изготавливаемой детали с учетом особенностей ее формы и размеров и возможностей используемого технологического оборудования, а также нужна оптимизация проектного решения. Процесс проектирования разбивают на элементарные, но универсальные операции (элементы расчетов, принятия решений, геометрических преобразований и др.), каждая из которых уже не зависит от особенностей деталей и проектируемых процессов. Однако в совокупности комплекс элементарных операций обеспечивает принятие решения для деталей любых форм.

Требования к САПР штампов. 1. Проектируемые системы должны охватывать широкий комплекс задач, решаемых в процессе технической подготовки производства, на основе один раз закодированной и введенной информации без промежуточного ручного перекодирования.

Особенно эффективны сквозные системы автоматизированного проектирования, построенные на базе единства методического, информационного, математического, программного и технического обеспечений, охватывающие как этапы проектно-конструкторских работ, так и этапы технологической подготовки производства, вклю-

чая автоматизированное управление технологическим оборудованием, причем все этапы подготовки производства рассматриваются как взаимосвязанные процессы преобразования информации.

Деление автоматизированных систем на подсистемы и построение последних по принципу определенной соподчиненности — эффективное средство сокращения трудоемкости решения задач проектирования сложных объектов. Такой подход позволяет строить динамически развивающиеся автоматизированные системы — параллельное создание подсистем, решающих различные задачи проектирования, с последующим включением по мере их готовности в комплексную систему, а также последовательное решение на ЭВМ задач нарастающей сложности по мере развития теории и методов создания САПР.

Системный подход требует разделения инвариантной, т. е. неизменной, и изменяемой (нормативная и справочная информация, в том числе о составе оборудования и применяемых в цехе материалах) частей системы, что обеспечивает при использовании блоков оптимизации адаптацию (приспособление) системы к изменяющимся условиям производства.

2. САПР должны обеспечивать оперативное информационное взаимодействие с окружающей средой на всех этапах проектирования, в том числе взаимодействие с автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП), предприятием (АСУП), отраслевыми (ОАСУ), а также адаптируемость систем к конкретным производственным условиям.

Взаимосвязь с АСУ ТП означает не только сквозное проектирование вплоть до выдачи программ для станков с числовым программным управлением (связь с АСУ ТП нулевого уровня), но и разработку программ управления технологическим объектом (оборудование, промышленный робот и др.) с автоматическим корректированием программ (результатов проектирования) в соответствии с поступающей по каналам обратной связи информации о ходе, результатах или отклонениях параметров технологического процесса.

Некоторые пакеты прикладных программ (ППП) и подсистемы проектирования технологического процесса, входящие в САПР, можно рассматривать как составные части АСУ ТП, так как при управлении технологическим процессом необходимо в каждый заданный момент (в реальном масштабе времени) проектировать новый вариант технологического процесса или изменять отдельные его параметры и режимы в зависимости от состояния оборудования, внешней среды, качества продукции и других данных о ходе технологического процесса, постоянно получаемых с датчиков и поступающих в управляющую ЭВМ.

Взаимосвязь с АСУП должна обеспечивать поступление в нее из системы проектирования информации о трудоемкости, расходе основных и вспомогательных материалов, загрузке оборудования и т. д. для решения задач технико-экономического планирования, материально-технического снабжения и т. д. Из АСУП поступает в САПР информация о технико-экономических параметрах производ-

ственной обстановки в цехе или на предприятии (плановых заданиях, фондах времени работы и состоянии оборудования, поступаемом на завод материале и т. д.), которые влияют на результаты и даже способы решения задач проектирования. Таким образом, осуществляется реакция САПР на изменение внешней среды и ее адаптация к конкретным условиям производства, а также повышается эффективность каждой из систем (АСУП и САПР).

Цель взаимосвязи с отраслевыми системами управления — это оптимизация планирования, специализация и кооперация выпуска поковок, штампованных деталей и штампов в отдельных цехах и на заводах отрасли.

3. Одним из наиболее важных принципов создания САПР является принцип максимальной инвариантности, обеспечить который позволяют формализация, унификация и стандартизация методического, информационного, математического, программного и технического обеспечений.

Успешное решение задач по автоматизации технической подготовки производства во многом будет зависеть не только от быстродействия ЭВМ, но и от универсальности алгоритмов и программ, используемых при автоматизированном проектировании. Работе по созданию таких алгоритмов и программ предшествует систематизация и экспериментальная проверка нормалей, рекомендаций и расчетных формул, используемых при разработке технологии и конструировании, а также проведение исследований по алгоритмизации методов расчета, формализации процесса проектирования и совершенствованию нормативного хозяйства.

Цель формализации — создание отраслевых и межотраслевых методик проектирования, разработка на их базе руководящих технических материалов и ОСТов по методам и алгоритмам проектирования, обязательные для всех предприятий отрасли. Это дает возможность создавать единые системы для разных предприятий отрасли.

Единая программа работ по стандартизации и унификации перечисленных выше обеспечений САПР способствует их универсальности и гибкости, быстрой переналадке при изменении производственных условий, поэтапному вводу системы в эксплуатацию и последующему ее расширению за счет вновь разработанных подсистем, а также совершенствованию работающих алгоритмов и программ.

4. САПР должны состоять из ряда подсистем, которые можно объединять в различных вариантах или использовать автономно, для чего необходимо широко применять иерархический принцип построения программных и технических средств, модульный и пакетный принципы решения сложных задач.

Модульный принцип заключается в том, что на этапе алгоритмизации из общей задачи выделяют части (модули), имеющие относительную смысловую и функциональную самостоятельность, которые проходят автономно стадии анализа, программирования и отладки, после чего их в готовом виде используют для сборки общей программы. Отдельные программные модули могут содержать

модули низшего уровня, реализующие стандартные процедуры преобразования информации и используемые во многих других модулях высшего уровня.

Из множества проектных процедур необходимо выделить унифицированные, алгоритмы решения которых неизменны для ряда объектов проектирования или различных стадий проектирования одного и того же объекта. Из универсальных и унифицированных модулей формируют библиотеки, использование которых исключает дублирование при разработке одинаковых частей программ и снижает трудоемкость создания систем. Библиотека модулей постоянно пополняется и обновляется. Модульный принцип решения задач обеспечивает гибкость автоматизированных систем, причем программы преобразования информации в таких системах можно изменять добавлением новых модулей, а также преобразованием и перестановкой существующих.

Модульный принцип создает предпосылки не только для автоматизации проектирования многих процессов, но и для автоматизации создания алгоритмов проектирования (в кодах ЭВМ). Последнее имеет огромное значение для развития и распространения методов автоматизированного проектирования, так как ускоряет процесс разработки отдельных алгоритмов и программ, длящийся в настоящее время месяцы и даже годы.

На базе библиотеки стандартных модулей создают локальные подсистемы автоматизированного проектирования в виде пакетов прикладных программ, включающих проблемно-ориентированный входной язык, математическую модель объекта проектирования, библиотеку программных модулей, монитор (генератор) программы, выходной язык и подсистему документирования результатов проектирования. Пакетный принцип создания систем позволяет автоматически собирать отдельные подсистемы с учетом пожеланий проектировщика и вносить в них соответствующие коррективы, а также компоновать сложные многоуровневые иерархические системы комплексного проектирования из подсистем нижнего уровня.

Создание систем и подсистем автоматизированного проектирования — не эпизод, а непрерывный процесс их развития, совершенствования, расширения функций. Модульный и пакетный принципы обеспечивают поэтапный ввод системы в эксплуатацию и последующее ее расширение за счет вновь разработанных подсистем, модулей и т. д.

5. Эффективность автоматизированного проектирования повышается с применением методов оптимизации проектных решений. Для этого необходимы тщательные исследования процессов для построения их оптимизационных моделей.

6. При проектировании САПР целесообразно разделить функции между человеком и ЭВМ. В разработанных САПР человек участвует в процессе проектирования только на стадии кодирования исходных данных, при анализе результатов проектирования и во многих случаях (но не всегда) при изготовлении технологической документации. Все расчеты, связанные с проектированием, в том

числе обоснование и выбор вариантов, выполняет ЭВМ без активного участия человека. Дальнейшее развитие работ по автоматизации проектирования связано с созданием сложных комплексов, реализующих диалог человек — ЭВМ в реальном масштабе времени. В этих системах человек предлагает идеи и гипотезы, активно участвует в решении трудноформализуемых задач; появляется возможность исследования и проектирования совершенно новых технологических процессов и штампов, развития их теории.

Этапы создания САПР штампов. Процесс создания систем автоматизированного проектирования штампов может быть разбит на отдельные этапы: постановку задачи; разработку свода четких правил (технологических алгоритмов) решения задач технологической подготовки производства; выбор одного из существующих или разработку нового метода кодирования исходной информации и декодирования выходной информации; разработку машинных алгоритмов и программ; внедрение системы.

В постановку задачи входит описание объекта автоматизации, выбор и определение ограничений применения разрабатываемой автоматизированной системы, а также вида и объема входной и выходной информации.

Объектом автоматизации, как правило, является отдельная технологическая задача, например проектирование чертежей штампов для поковок типа тел вращения, штампуемых на молотах. Здесь имеем ограничения трех типов: по геометрической форме деталей, по типу оборудования (это вызывает ограничения числа возможных вариантов технологического процесса, форм заготовки и типов штампа), по числу решаемых в системе задач. Последнее обуславливает состав входной, выходной и объем перерабатываемой информации. Ограничения в системе вызываются, с одной стороны, уровнем развития методов математического описания закономерностей проектируемого процесса и методов автоматизированного решения задач, с другой стороны, экономической целесообразностью автоматизации рассматриваемых задач.

Определение необходимого уровня автоматизации — очень важная задача, для решения которой целесообразно применять экономические методы анализа. Трудоемкость и стоимость неавтоматизированного проектирования возрастают с увеличением сложности объекта, но не пропорционально увеличению сложности, а с некоторым замедлением. Под сложностью объекта проектирования будем понимать не только число и трудоемкость расчетных методов, чертежно-графических работ и т. д., но и число вариантов расчета, необходимое для получения оптимального (или хотя бы приемлемого) решения.

Стоимость же подготовки автоматизированного проектирования, как показывает опыт, резко возрастает с увеличением сложности объекта на каждом этапе развития техники, теории, методологии создания автоматизированных систем. При этом затраты на автоматизированное проектирование должны определять, исходя из затрат на разработку системы и экономического эффекта, получа-

емого за счет ее внедрения. Унификация, стандартизация и другие способы совершенствования проектирования систем, а также более широкое использование математических методов оптимизации значительно повышают эффективность автоматизированного проектирования сложных объектов. Отметим, что результаты обобщения опыта автоматизированного проектирования и алгоритмизации полезны и используются при неавтоматизированном проектировании.

Накопление опыта и снижение стоимости создания автоматизированных систем делают экономически целесообразным решение на ЭВМ и тех задач, которые вручную вообще не решали из-за отсутствия простых, доступных человеку методов расчета.

При создании автоматизированных систем целесообразны последовательная постановка и решение задач нарастающей сложности. Наиболее трудоемкой и ответственной частью работы в создании автоматизированной системы технологической подготовки производства является разработка технологических алгоритмов. Имеющиеся в специальной технической литературе, ГОСТах, руководящих технических материалах, нормах, учебниках рекомендации по расчету отдельных параметров процесса и штампов предназначены обычно для творческого применения их инженерами-технологами, но неприемлемы при использовании ЭВМ. Если человек может принимать на разных этапах проектирования одно из множества возможных решений, отдавая ему предпочтение без каких-либо объяснений, т. е. на основе своего опыта и интуиции, то ЭВМ, являясь инструментом, исполняющим только запрограммированные действия, требует строгого, полного и однозначного описания программы действий во всех возможных ситуациях. Кроме того, правила автоматизированного проектирования должны быть максимально детализированными. Поэтому необходимы специальные исследования для обобщения имеющихся рекомендаций и разработки новых методов расчета.

Программы, с помощью которых проектируют на ЭВМ, должны быть универсальными, т. е. пригодными для разработки технологического процесса и штампа применительно к любой детали, входящей в выбранный класс. Это также предъявляет определенные требования к рекомендациям и формулам, используемым в САПР.

Для алгоритмизации процесса технологической подготовки необходимо: математическое описание методов расчета технологических параметров процесса и штампа — рекомендации должны быть четкими, строгими и представлены в виде формул, таблиц и т. д.; разграничение областей применения методов расчета — при этом правила, определяющие, какой из методов расчета можно применить в каждом конкретном случае, должны иметь математическую формулировку; разработать количественные оценки качественных показателей, которыми оперирует инженер при неавтоматизированном проектировании, и критерии для оценки оптимальности выбранных вариантов; составить схему всего процесса проектирования.

ЭВМ воспринимает только алфавитно-цифровую информацию и

не приспособлена к восприятию графических изображений детали, ее размерных цепей, технических требований и других видов качественной информации. Поэтому необходимо использовать специальный информационный язык, или систему (метод) кодирования. От рациональности и простоты информационного языка в значительной степени зависят время кодирования, требуемый объем памяти, сложность алгоритмов и программ проектирования и машинное время решения задачи. Все большее развитие получают автоматизированные системы графического диалога с ЭВМ и автоматизированные рабочие места конструктора и технолога, которые значительно повышают эффективность САПР, а также существенно расширяют возможности автоматизированного проектирования, обеспечивая ввод в ЭВМ, переработку и вывод информации об объектах (например, чертежей деталей, поковок, штампов) сложной геометрической формы.

При разработке форм выходной информации (комплекта технологической документации, необходимой для производства проектируемого объекта) следует обеспечить соответствие их ЕСТД и ЕСКД с учетом возможностей АЦПУ (алфавитно-цифровых печатающих устройств) или графопостроителей. Форма некоторых выходных документов, например технологической карты, может отличаться по размерам (но не по числу и содержанию граф) от формы документов, применяемых при неавтоматизированном проектировании, что связано с особенностями печатающих устройств ЭВМ (применяются только заглавные буквы, их размеры и расстояния между ними строго определены и т. д.). Входная информация должна базироваться на системе стандартов по кодированию и классификации понятий и объектов машиностроения и приборостроения.

От трудоемкости этапов кодирования и декодирования зависит экономическая эффективность внедрения САПР.

2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ ПОКОВОК

Автоматизированная система технологической подготовки горячештамповочного производства. На рис. 7.1. показана структурная схема автоматизированной системы технологической подготовки штамповочного производства поковок на основных видах штамповочного оборудования: молот, КГШП и ГКМ. На схеме отображена также структура информационных связей САПР штамповочного производства с внешними системами. В САПР выделяют четыре основных подсистемы (этапа): 1 — проектирования чертежей поковок (блок 4); 2 — проектирования технологии штамповки (блок 5); 3 — конструирования штампов, мерительного и технологического инструмента (блок 6); 4 — расчета загрузки штамповочного оборудования (блок 7).

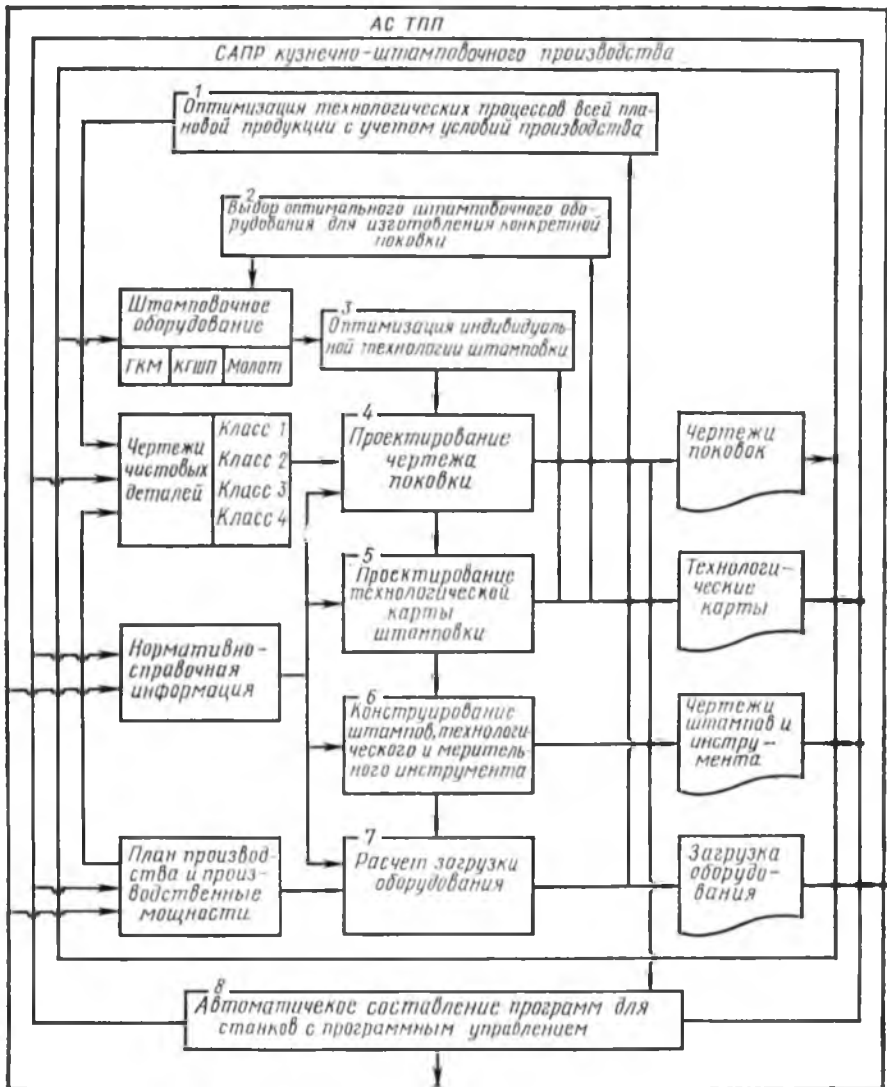


Рис. 7.1. Структурная схема автоматизированной системы технологической подготовки горячештамповочного производства

Исходной информацией для первого этапа проектирования является информация о чистовой детали, а для последующих этапов — информация, получаемая при выполнении предыдущего этапа.

В процессе проектирования на всех этапах используется нормативно-справочная информация (НСИ), отражающая условия производства и технические требования, предъявляемые к результатам

проектирования. Через НСИ осуществляется связь системы проектирования с автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП) и АСУП. При изменении условий конкретного производства и при изменении его научно-технического уровня происходят количественные изменения соответствующих частей НСИ, благодаря чему происходит реакция системы проектирования на изменение внешней среды.

Каждому этапу проектирования соответствует выходная информация определенного качества, зависящая количественно от входной информации (исходной детали и НСИ). Эта информация используется как в сфере производства, так и в сфере управления.

На различных этапах к результатам проектирования в общем случае можно предъявить те или иные требования. Для более полного удовлетворения этих требований необходима оптимизация решений по различным показателям качества. Это отражено на схеме в виде трех вложенных друг в друга контуров обратной связи, включающих соответствующие оптимизаторы (блоки 1, 2, 3).

Описанная схема инвариантна к типам штамповочного оборудования, к форме и размерам чистовых деталей, но правила выполнения каждого из этапов проектирования (блоки 1—7) зависят от указанных факторов. Это предполагает создание нескольких локальных подсистем для каждого типа оборудования и класса поковок. Из всего многообразия форм и размеров деталей, каждой из которых соответствует свой технологический процесс штамповки, можно выделить некоторые подмножества — такие, что каждому представителю этого подмножества присущи характерные, общие для всего подмножества, признаки формы и соответствующие им правила проектирования техпроцесса.

В приведенной схеме САПР принята следующая классификация деталей по их форме: класс 1 — осесимметричные детали типа тел вращения; класс 2 — детали с двумя осями симметрии в плане типа фланцев; класс 3 — тела вытянутой формы, типа валов; класс 4 — асимметричные тела произвольной конфигурации.

Данная классификация основана на принципе вложенности т. е. поковки, входящие в низший класс, полностью охватываются классом высшего порядка. В соответствии с этой классификацией определяется направление развития САПР в горячештамповочном производстве — переход от автоматизации проектирования поковок (соответствующих им технологических процессов и штампов) низшего класса к высшему с соблюдением принципа перехода от простого к сложному.

Кодирование исходной информации. Метод кодирования геометрического образа чистовой детали основан на задании координат вершин многоугольника, являющихся точками пересечения прямолинейных отрезков контура осевого сечения. Для осесимметричной детали достаточно дать сечение правой половины (рис. 7.2).

Сведения о детали заносят в таблицу кодировочных сведений (ТКС) (табл. 7.1):

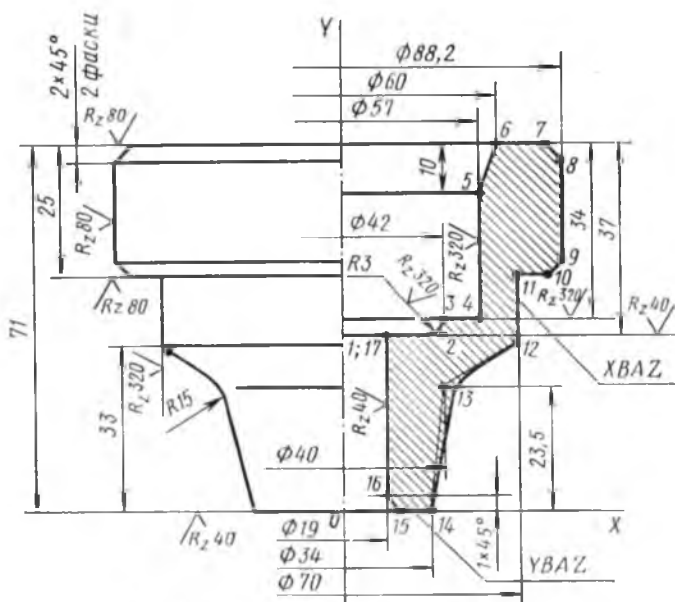


Рис. 7.2. Кодирование контура детали

Таблица 7.1. Бланк таблицы кодировочных сведений (ТКС)

Шифр и на- именование детали	Материал	Группа точ- ности поков- ки	ХВАЗ, мм		УВАЗ, мм		Объем вып. пуска, шт/тон		
10416 Фланец	38ХС	2	35		0		20000		
Номер точки	Х, мм	У, мм	В, мм	С	Номер точки	Х, мм	У, мм	В, мм	С
1	9,5	34,0	0	40	10	42,1	46,0	0	80
2	21,0	34,0	3	320	11	35,0	46,0	0	320
3	21,0	37,0	0	320	12	35,0	33,0	0	0
4	28,5	37,0	0	320	13	20,0	23,5	15	0
5	28,5	61,0	0	0	14	17,0	0,0	0	40
6	30,0	71,0	0	80	15	10,5	0,0	0	80
7	42,1	71,0	0	80	16	9,5	1,0	0	40
8	44,1	69,0	0	80	17	9,5	34,0	0	-40
9	44,1	48,0	0	80					

1. Заводской шифр, наименование детали и марку материала переносят с чертежа на бланк в той же алфавитно-цифровой форме, как они представлены на чертеже.

2. Группу точности поковки и объем выпуска за год заносят в соответствующие графы в виде целых чисел.

3. Правое полусечение детали помещают в прямоугольную систему координат, причем ось ординат должна совпадать с осью вращения детали, а ось абсцисс может быть расположена произвольно (предпочтительно под сечением).

4. Определяют расстояние от диаметральной $XBAZ$ и высотной $YBAZ$ установочных баз механической обработки до соответствующих координат осей и записывают в бланк в виде десятичных чисел с точностью до 0,1 мм.

5. Вершины выпукло-вогнутого многоугольника, охватывающего правое полусечение детали, нумеруют по часовой стрелке и записывают в соответствующей графе в виде целых чисел. За начало обхода принимают любую из вершин многоугольника. Первая вершина должна быть и последней (замыкание контура).

6. Координаты каждой вершины записывают в виде десятичных чисел с точностью до 0,1 мм.

7. Каждой вершине соответствует радиус дуги R , скругляющей эту вершину; значения R записывают в виде десятичных чисел.

8. Каждой вершине соответствует число C , равное числовому значению шероховатости поверхности, сечение которой — сторона многоугольника с началом в этой вершине; записывают в бланке как целое положительное десятичное число. Шероховатость необрабатываемых поверхностей кодируют нулем ($C=0$). Для последней точки контура число C записывают со знаком минус.

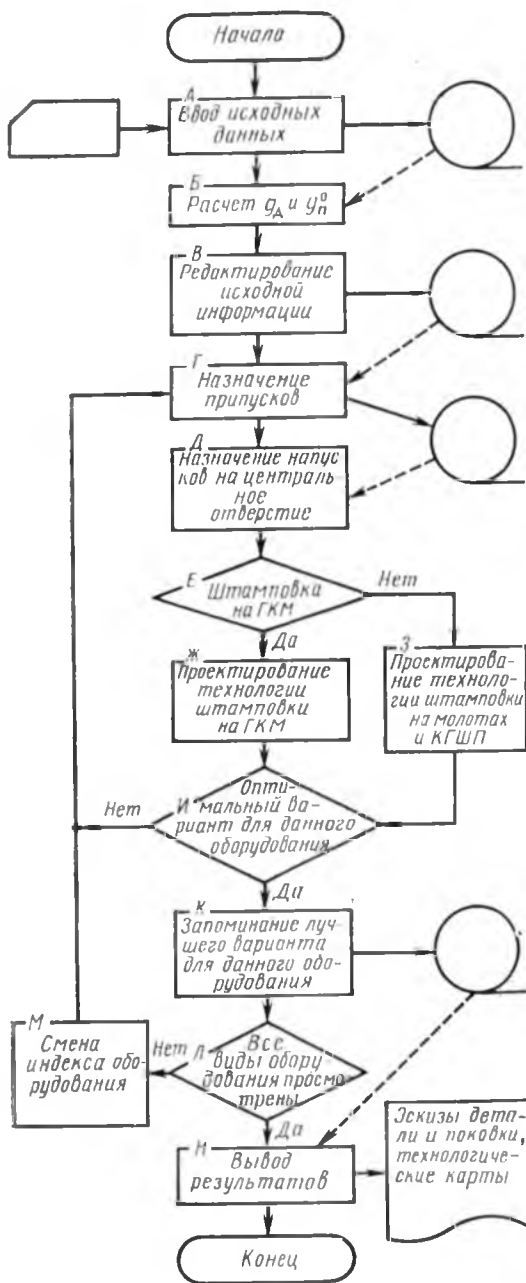
Таким образом, на кодировочном бланке каждой вершине многоугольника соответствует группа чисел — X, Y, R, C ; при этом первая строка совпадает с последней (за исключением знака у числа C). Заполненный бланк содержит все необходимые для проектирования данные, которые затем переносят на перфокарты и вводят в ЭВМ.

Такая система кодирования позволяет заложить в ЭВМ информацию о чертеже детали типа вращения с контуром любой формы. На расчет координат по заданным на чертеже детали размерам не требуется много времени. Алгоритмы, разработанные с учетом этой системы кодирования, дают возможность распознавать особенности формы детали и решать все вопросы, связанные с преобразованием таблицы координат чертежа детали в таблицу координат чертежа поковки и штампа (назначение припусков, напусков, расчет объема и массы детали и т. д.).

Имеется также возможность использования автокодировщиков и других средств графического диалога с ЭВМ, значительно облегчающих процесс ввода информации о чертеже детали.

Исходная информация о детали с помощью САПР преобразуется в аналогичную информацию о чертеже поковки, на основе которой получают информацию о технологическом процессе штамповки. Последняя является исходной для подсистемы проектирования штампов.

САПР технологического процесса. На рис. 7.3 показана укрупненная блок-схема САПР технологического процесса штамповки



поковок типа тела вращения на молотах, КГШП и ГКМ. В ней показано взаимодействие основных блоков САПР. Процедуры ввода исходных данных, расчета массы готовой детали g_d и приближенного значения массы поковки g_n^0 , редактирования исходных данных, назначения припусков на обработку резанием и напусков на центральное отверстие (блоки А—Д), а также процедуры вывода результатов (блок Н) являются общими для всей САПР и не зависят от основных ее частей — блоков Ж и З, имеющих каждый свою внутреннюю организацию и состав процедур.

Процессы штамповки на молотах и КГШП сходны, поэтому для снижения затрат на создание САПР построена единая схема проектирования и общая структура алгоритма для этих видов оборудования (блок З). Процесс проектирования технологии штамповки на ГКМ значительно отличается от упомянутых процессов и имеет лишь некоторые общие с ними

Рис. 7.3. Укрупненная блок-схема САПР технологического процесса штамповки на молотах, КГШП и ГКМ поковок типа тела вращения

процедуры, поэтому выделен на блок-схеме в виде самостоятельного блока Ж. Обратная связь блока И с блоком Г отражает возможность оптимизации решений для каждого из видов оборудова-

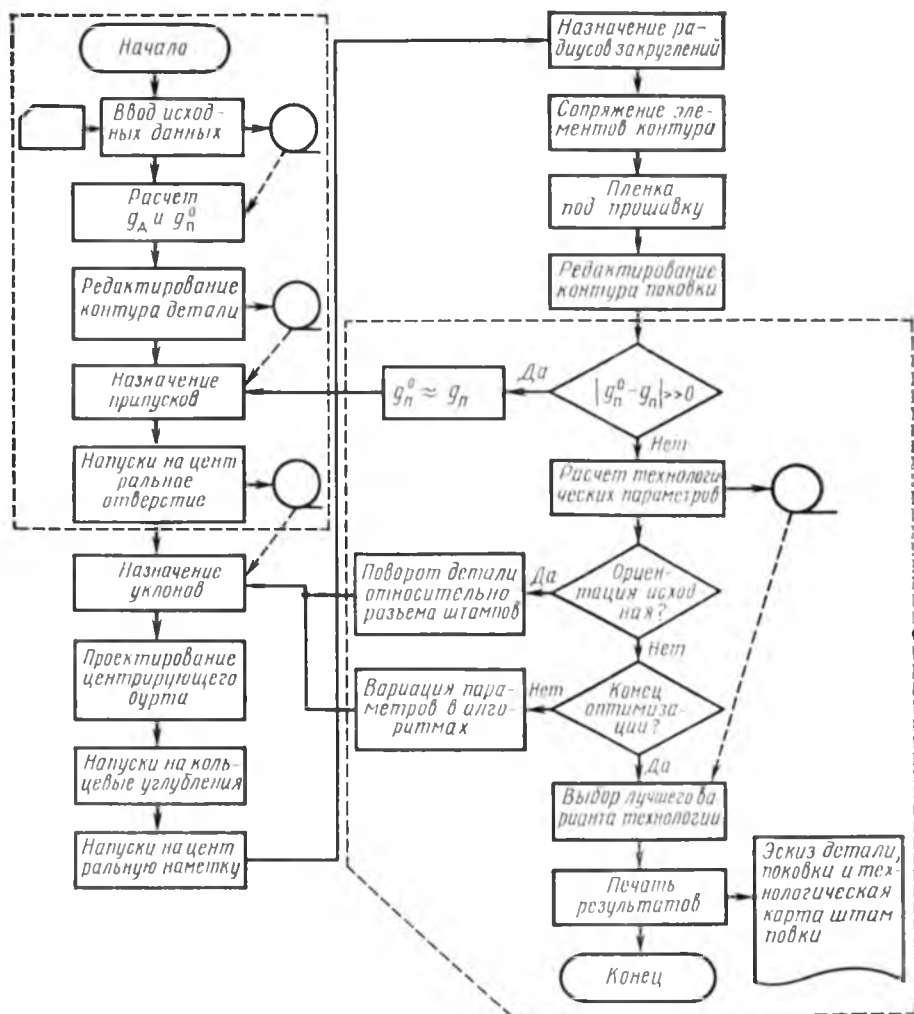


Рис. 7.4. Блок-схема алгоритма проектирования технологического процесса штамповки на молоте и КГПП

ния, а связь блока Л с блоком Г (через блоки М и Е) — возможность проектирования технологии для всех перечисленных видов оборудования с запоминанием результатов проектирования в блоке К для дальнейшего выбора оптимального варианта технологии.

Блок-схемы проектирования технологических процессов штамповки на молотах и КГПП (блок З) и на ГKM (блок Ж) представлены на рис. 7.4 и 7.5 соответственно. Общие части САПР обведены штриховыми линиями.

Состав и последовательность исполнения процедур полностью отражены на рисунках, однако следует отметить одну реализуемую

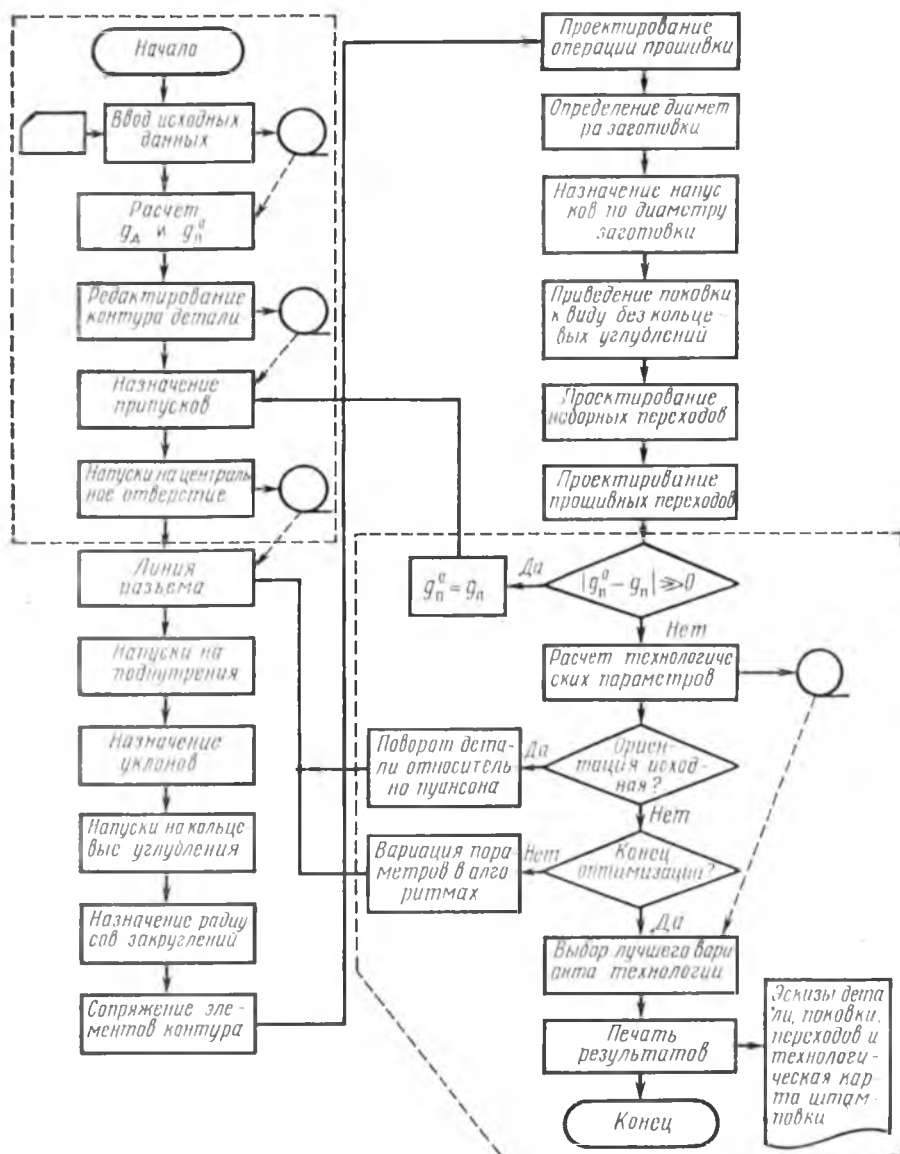


Рис. 7.5. Блок-схема алгоритма проектирования технологического процесса штамповки на ГКМ

в них особенность. Известно, что ориентация детали относительно линии разреза существенно влияет на результаты проектирования. В специальной литературе отсутствуют четкие рекомендации по выбору исходной ориентации поковки. Известно, что условия формообразования в верхней части штампа молота более благоприятны,

чем в нижней, так как часть деформируемого металла, находящаяся в нижней части штампа, быстрее охлаждается из-за более продолжительного с ней контакта. Кроме того, извлечь поковку из верхней части штампа легче, чем из нижней при одинаковой сложности их гравюры. Стойкость верхней части штампа при тех же условиях выше нижней. Поэтому поковку обычно ориентируют так, чтобы в верхней части штампа находилась часть поковки с более сложной формой.

Для ГКМ рекомендуется ориентировать поковку относительно линии разреза между пуансоном и матрицами так, чтобы большая часть работы по формообразованию поковки выполнялась наборными операциями. Это достигается в тех случаях, когда центр тяжести поковки расположен ближе к пуансону.

Эти рекомендации, имея качественный характер, не выражены количественно. При неавтоматизированном проектировании технолог, обладая достаточной эрудицией и способностью зрительного восприятия чертежа, на основе общих рекомендаций почти безошибочно для большинства поволок может определить лучший способ ориентации.

В описываемой САПР данная задача решается двухкратным проектированием (для двух способов ориентации) с последующим обоснованием и выбором лучшего варианта. Учитывая быстрое действие ЭВМ, такое решение представляется вполне допустимым.

Как видно из рис. 7.4 и 7.5, состав проектных процедур мало отличается от процедур, выполняемых инженером при неавтоматизированном проектировании. Основное отличие — в способах преобразования информации.

Чертеж поковки в ЭВМ проектируется в результате выполнения в заданном порядке процедур преобразования контура сечения чистовой детали в контур сечения поковки. При этом выполняются процедуры расчета массы детали, назначения припусков на обработку резанием, напусков на центральное отверстие, определяется положение плоскости разреза штампов (или линии разреза пуансона и матрицы), назначаются штамповочные уклоны, напуски на кольцевые углубления и на центральную наметку, проектируется центрирующий бурт, радиусы скругления внутренних и наружных углов, формируется перемычка в отверстии.

Данные о чертеже детали и поковки в виде ТКС, а также эскизы чертежей (рис. 7.6, а, б) выдаются на АЦПУ. Эти документы удобны для контроля за качеством кодирования исходных данных и правильностью выполнения проектных процедур.

Чертеж поковки можно получить автоматически на графопостроителе (рис. 7.7) или вручную, декодируя ТКС.

Информация о спроектированной поковке поступает в соответствующую подсистему проектирования технологического процесса. При проектировании технологического процесса штамповки на молотах и КГШП рассчитывают массу поковки, размеры облойной канавки, расход металла в облой, массу заготовки, размеры осажженной заготовки, массу падающих частей молота или силу пресса,

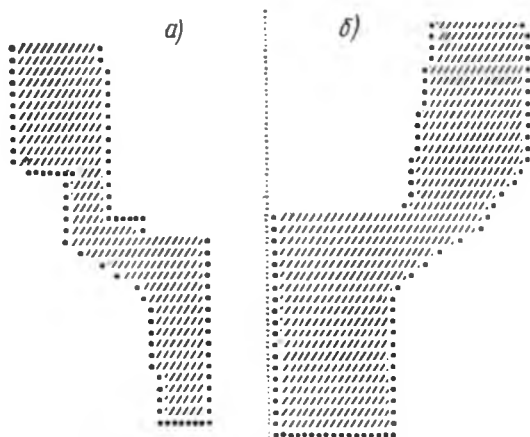


Рис. 7.6. Эскизы детали (а) и поковки (б), полученные на АЦПУ ЭВМ

размеры исходной заготовки, стойкость штампов, время на ручные операции штамповки, машинное время и штучное время на штамповку одной поковки, норму расхода материала, допустимое число восстановлений комплекта штампа, число комплектов штампов, необходимое для изготовления заданной партии поковок, допустимое число восстановлений и стоимость штампа, стоимость изготовления штампа, затраты на технологическую оснастку, заработ-

ную плату производственных рабочих, затраты на основные материалы, изменяемую часть себестоимости изготовления поковки.

При проектировании технологических процессов штамповки на ГКМ информация, поступающая из подсистемы проектирования чертежа поковки, не является окончательной, так как часть процедур преобразования чертежа детали в чертеж поковки выполняют

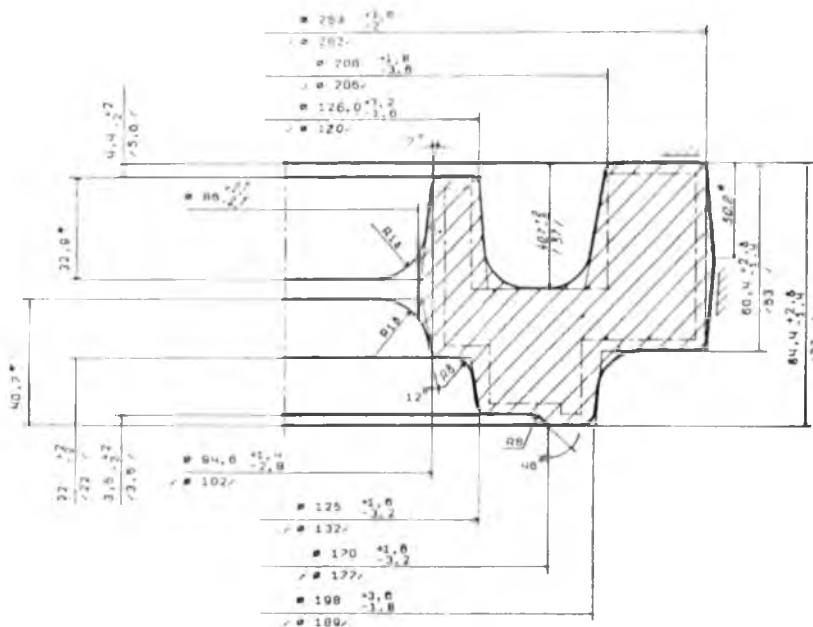


Рис. 7.7. Чертеж поковки, полученный на графопостроителе в САПР

[illegible]

6*

Технологическая карта процесса штамповки на ГKM, выданная АЦПУ, представлена на рис. 7.9. Аналогично получают технологические карты при проектировании технологических процессов штамповки на молотах и КГШП.

Полученная при автоматизированном проектировании поковки и технологического процесса штамповки информация является исходной для подсистемы проектирования штампов.

САПР индивидуальных молотовых штампов. Алгоритм проектирования молотовых штампов построен по модульному принципу. Каждый модуль — это отдельный блок, в описании которого указывают входные параметры, алгоритм решения и выходные параметры, получаемые в результате реализации алгоритма.

Блок-схема сборки модулей приведена на рис. 7.10.

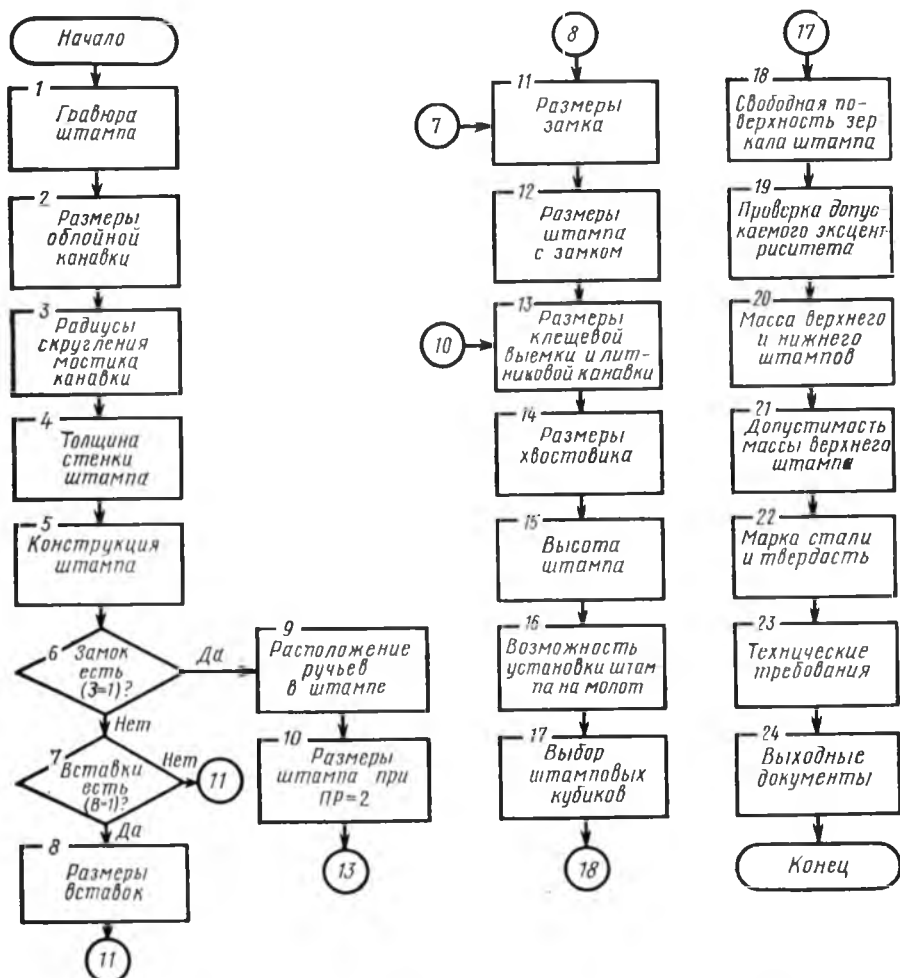


Рис. 7.10. Блок-схема алгоритма проектирования молотовых штампов

Размеры облойной канавки (блок 2) определяются следующим образом. Высота h и ширина l_1 мостика облойной канавки (рис. 7.11) рассчитываются в зависимости от массы поковки $g_{\text{п}}$, степени сложности $S_{\text{п}}$ (2.1), диаметра заготовки после осадки D_0 . Ширина l_2 и высота h_1 магазина облойной канавки выбираются из массива ЦСИ.

Толщина стенки штампа между чистовым ручьем и гранью штампа T_c (рис. 7.12) рассчитывается (блок 4) в зависимости от $h_{p \max}$ и радиуса скругления r полости, примыкающей к линии разреза, а также угла α наклона боковой стенки штампа (см. рис. 7.11).

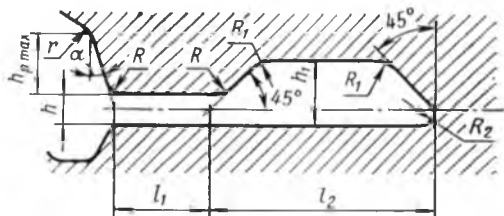


Рис. 7.11. Размеры облойной канавки

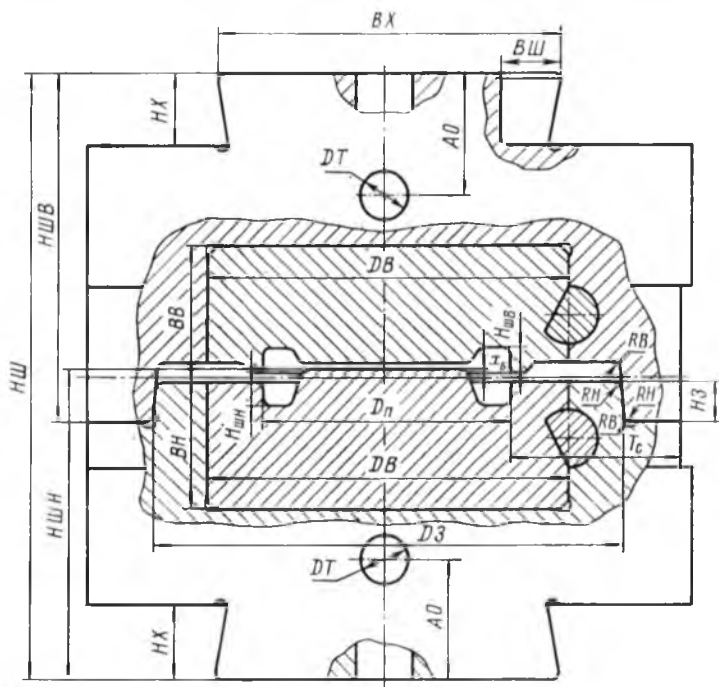


Рис. 7.12. Штамп молотовой с вкладышами

Если в штампе имеется черновой ручей, то, кроме того, рассчитывается толщина стенки между черновым и чистовым ручьем t_c (рис. 7.13) в зависимости от $h_{p \max}$, r и α .

Конструкция штампа (с замком — $Z=1$ или без замка — $Z=0$) выбирается (блок 5) в зависимости от применения чернового (предварительного) ручья. Если черновой ручей применяется ($ПР=2$), то $Z=1$. Для штампа без чернового ручья ($ПР=1$), без замка ($Z=0$) принимается решение (блоки 6, 7) о применении вставок в штампе. Цилиндрические вставки применяются только для молотов с $G_{п.ч} > 3,15$ т.

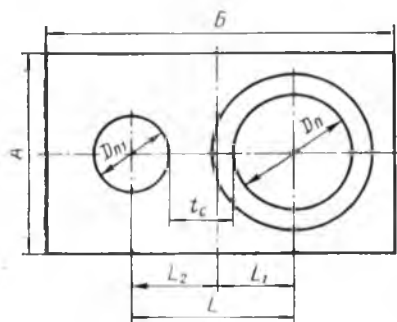


Рис. 7.13. Расположение ручьев в штампе

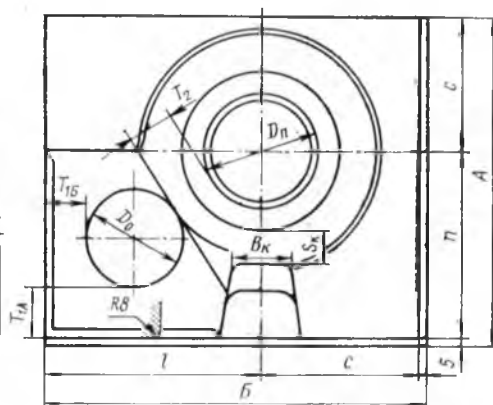


Рис. 7.14. Размеры штампа с замком

Размеры вставок $ВВ$, $ВН$ и $ДВ$ (см. рис. 7.12) рассчитываются (блок 8) в зависимости от $НШВ$, $НШН$, $НЗ$ и (если имеется бобышка, выступающая в верхнем или нижнем штампе за линию разреза) от высоты выступа бобышки за линию разреза x_b . Размеры вставок должны обеспечивать достаточную прочность штампов, т. е. быть больше некоторых расчетных величин, зависящих от максимальной глубины полости в верхнем $НШВ$ и нижнем $НШН$ штампе, диаметра поковки D_n и $h_{p \max}$. Если эти условия выполнены, то из массива ИСИ выбирается номер стандартной обоймы в зависимости от $G_{п.ч}$.

Расположение ручьев в штампе определяется (блок 9) в зависимости от применения чернового ручья. Если он применяется ($ПР=2$), то центр окончательного ручья располагают на расстоянии $L_1=L/3$, а центр предварительного ручья — на расстоянии $L_2=2L/3$ от центра давления штампа, где $L=D_n+t_c$ — расстояние между ручьями (рис. 7.13). В штампе без чернового ручья ($ПР=1$) центр ручья совмещают с центром штампа: $L_1=L_2=0$.

Размеры штампа с черновым ручьем (рис. 7.14): длина A , ширина B , максимальное расстояние от оси хвостовика до грани штампа l , расстояние от оси шпонки до грани штампа n , расстояние от оси хвостовика до грани штампа c , диаметр ручья для осадки D_o —

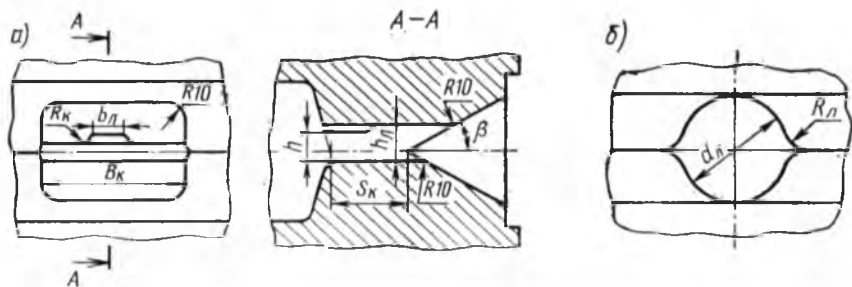


Рис. 7.15. Размеры клещевой выемки (а) и литниковой канавки (а, б)

рассчитываются (блок 10) в зависимости от L_1 , L_2 , $D_{\text{п}}$, T_c , l_1 , l_2 и расстояний от контура осаженной заготовки соответственно до грани штампа T_1 (T_{1A} или $T_{1Б}$) и до контура поковки T_2 (T_1 и T_2 определяются из массива НСИ).

Размеры замка. Диаметр замка D_3 рассчитывается (блок 11) для штампов без вставок ($B=0$) в зависимости от $D_{\text{п}}$, l_1 , l_2 , T_c . Высота замка H_3 , его ширина, зазор, радиусы скругления R_B и R_H (см. рис. 7.12) определяются из таблицы массивов НСИ в зависимости от D_3 . Для штампа со вставкой размеры замка выбираются из НСИ в зависимости от номера обоймы.

Размеры штампа без вставки с замком: A , B , l , n , c (рис. 7.14) рассчитывают (блок 12) в зависимости от $D_{\text{п}}$, l_1 , l_2 , T_c , D_3 , H_3 , D_o , T_1 и T_2 . Для штампа со вставкой и с замком размеры выбираются из НСИ в зависимости от номера обоймы.

Размеры клещевой выемки и литниковой канавки (блок 13). Расстояние от полости ручья до выемки под клещевину S_k (рис. 7.15, а и 7.14) рассчитывают в зависимости от T_c и угла наклона клещевины β ($15-20^\circ$ — выбирается из НСИ). При штамповке без чернового ручья ($ПР=1$) поковок с массой $g_{\text{п}} < 10$ кг ширину $b_{\text{л}}$ и высоту $h_{\text{л}}$ литниковой канавки рассчитывают в зависимости от высоты мостика h и магазина h_1 , а ширину клещевины B_k , угол ее наклона β , радиус ее скругления R_k выбирают из массива НСИ в зависимости от $b_{\text{л}}$ и $h_{\text{л}}$; для поковок с $g_{\text{п}} > 10$ кг применяют цилиндрическую литниковую канавку (рис. 7.15, б), диаметр d_n и радиус скругления R_n которой рассчитывают в зависимости от h_1 . При штамповке с черновым ручьем ($ПР=2$) в случае, когда $L-B_k \leq 10$ мм, применяют общую для обоих ручьев клиновую канавку шириной $2B_k + 12$ мм.

Размеры хвостовика (ширина B_X , высота H_X , ширина $B_{\text{ш}}$ и длина шпоночного паза, диаметр D_T и глубина транспортного отверстия), расстояние от грани хвостовика до оси транспортного отверстия AO — см. рис. 7.12) выбираются (блок 14) из массива НСИ в зависимости от $G_{\text{п.ч}}$.

Высота штампа верхнего $H_{\text{шв}}$ и нижнего $H_{\text{шн}}$ (см. рис. 7.12) определяются (блок 15) в зависимости от $H_{\text{шв}}$, $H_{\text{шн}}$, расположения

наружной линии разреза, минимально $H_{\min}$ и максимально $H_{\max}$ допустимой высоты штампа в сборе (определяются из НСИ в зависимости от $G_{\text{п.ч}}$), возможности восстановления (перестрожки) штампа, размеров выступающей за линию разреза части бобышки $x_{\text{б}}$, наличия и размеров замка. Если совместная высота верхнего и нижнего штампов $H_{\text{Ш}} < H_{\max}$, то выбирается из массивов НСИ следующий, больший по $G_{\text{п.ч}}$ молот.

Возможность установки штампа на молот проверяется (блок 16) по условию $l \leq N - 20$, где N — расстояние от оси бабы до направляющей молота (выбирается из НСИ в зависимости от $G_{\text{п.ч}}$). Если $l > N - 20$, то проектируется квадратный штамп с размерами $A_1 = B_1 = l' + c + 5$, где $l' = f(D_{\text{п}}, D_0, T_1, T_2)$ — скорректированное расстояние от оси хвостовика до грани штампа. Если при этом $l' > N - 20$, то выбирается из НСИ следующий, больший по $G_{\text{п.ч}}$ молот.

Выбор штамповых кубиков (блок 17). Из массива НСИ выбираются значения припусков на механическую обработку для верхнего $\delta_{\text{в}}$ и нижнего $\delta_{\text{н}}$ штампов; полученные из блока 15 значения высоты верхнего $H_{\text{ШВ}}$ и нижнего $H_{\text{ШН}}$ штампов увеличиваются соответственно на $\delta_{\text{в}}$ и $\delta_{\text{н}}$, после чего из массива НСИ по заданным значениям $H_{\text{ШВ}}$, $H_{\text{ШН}}$, A и B выбираются штамповые кубики с ближайшими большими размерами AK , BK и $HKВ$ для верхнего штампа и AK , BK , $HKН$ — для нижнего. Если при этом окажется, что $l < 0,5 BK$, то принимают $l = 0,5 BK$ и еще раз проверяют возможность установки штампа на молот с использованием процедуры блока 16. Далее рассчитываются уточненные значения высоты верхнего $H_{\text{ШВ}}$ и нижнего $H_{\text{ШН}}$ штампов и корректируется закрытая высота штампа $H_{\text{Ш}}$ в зависимости от $HKВ$, $HKН$, максимального припуска $\delta = \max(\delta_{\text{в}}, \delta_{\text{н}})$, $HЗ$, $x_{\text{б}}$, $H_{\max}$.

Свободная поверхность зеркала штампа ($F_{\text{св}}$) рассчитывается (блок 18) в зависимости от наличия черного ручья, конструкции замка, l_1 , l_2 , $T_{\text{с}}$, AK , BK , l , $DЗ$, $D_{\text{п}}$, $B_{\text{к}}$, $S_{\text{к}}$. При этом должно выполняться условие $0,5 F_{\text{д}} \leq F_{\text{св}} < F_{\text{д}}$, где $F_{\text{д}}$ — допустимая площадь соударения (рассчитывается в зависимости от $G_{\text{п.ч}}$). Если $F_{\text{св}} < 0,5 F_{\text{д}}$, то сначала ширина кубика BK , а затем (если необходимо) и его длина AK увеличиваются на 10 мм до тех пор, пока не будет выполнено условие, или до тех пор, когда дальнейшее увеличение BK и AK станет недопустимым либо из-за ограничений размеров применяемых штамповых кубиков (задано в НСИ), либо из-за невозможности установки штампов на молот (см. блок 16). Если допустимое увеличение BK и AK не приводит к выполнению условия $F_{\text{св}} \geq 0,5 F_{\text{д}}$, то выбирают молот с ближайшей большей массой падающих частей.

Проверка допускаемого эксцентриситета (блок 19) между центром штампа и центром кубика проводится по условиям $l - 0,5 BK \leq \leq 0,1 BK$ и $n - 0,5 AK \leq 0,1 AK$. Если эти условия (или одно из них) не выполняются, то проводится уменьшение соответствующего размера T_{1A} или T_{1B} (см. рис. 7.14), но не более чем до 5 мм. Если и при этом не будет достигнуто выполнение условий, то увеличиваются размеры кубика (блок 17). Если опять не будут выполнены

условия допустимости эксцентриситета, то выбирается конструкция штампа без площадки под осадку.

Масса штампов: верхнего — G_v , нижнего — G_n и общая — G — рассчитывается (блок 20) в зависимости от AK , BK , $HШВ$, $HШН$, $HХ$, $ВХ$; при $PP=1$ (без черного ручья) $G=G_v+G_n-g_n$, при $PP=2$ $G=G_v+G_n-2g_n$.

Допустимость массы верхнего штампа (блок 21) проверяется по условию $G_v \leq 0,35 \cdot 10^3 G_{п.ч}$. Если оно не выполняется, то выбирается из ряда молотов в НСИ следующий с ближайшей большей массой падающих частей.

Марка стали и твердость молотовых штампов выбираются (блок 22) из НСИ в зависимости от $G_{п.ч}$; аналогично выбираются марка стали и твердость вставок.

Технические требования к молотовым штампам пишутся (блок 23) на графопостроителе или печатаются на АЦПУ над основной надписью чертежа (цифры получают расчетом на ЭВМ для конкретных размеров штампа).

Выходные документы (результаты автоматизированного проектирования штампов) (блок 24) в виде табуляграмм содержат координаты контура и эскизы детали и поковки, массу поковки g_n , массу падающих частей молота $G_{п.ч}$, номера бланк-чертежей и размеры штампа и вставок, технические требования и спецификацию чертежей. Эти документы предназначены для доработки бланк-чертежей или для автоматического выполнения чертежей (штампов, вставок, шаблонов с техническими требованиями) на графопостроителе.

Пример чертежа штампа, полученного на графопостроителе в САПР, показан на рис. 7.16.

Аналогично осуществляется автоматизированное проектирование индивидуальных штампов для КГШП. Выходная информация о спроектированном штампе является входной в подсистему автоматической подготовки управляющих программ для изготовления штампа на оборудовании с ЧПУ.

САПР групповых штампов. Проектирование групповой технологии и оснастки объемной штамповки экономически целесообразно в условиях мелкосерийного производства. Экономия достигается за счет уменьшения затрат на изготовление штампов, так как использование группового инструмента позволяет штамповать группу сходных по конфигурации поковок в одном комплексе штампов, в состав которого входят сменные вставки и переходные детали. Перед штамповкой каждой новой партии поковок штамп перенастраивается. Кроме того, при групповой технологии можно применять одинаковые заготовительные штампы перед многопереходной штамповкой поковок одной группы, а также встраивать кузнечно-прессовые машины в линию с металлорежущими станками, образуя поточное производство, что позволяет все детали изготавливать обработкой резанием из однотипных поковок. В результате уменьшаются отходы металла и возрастает производительность доводочных операций.

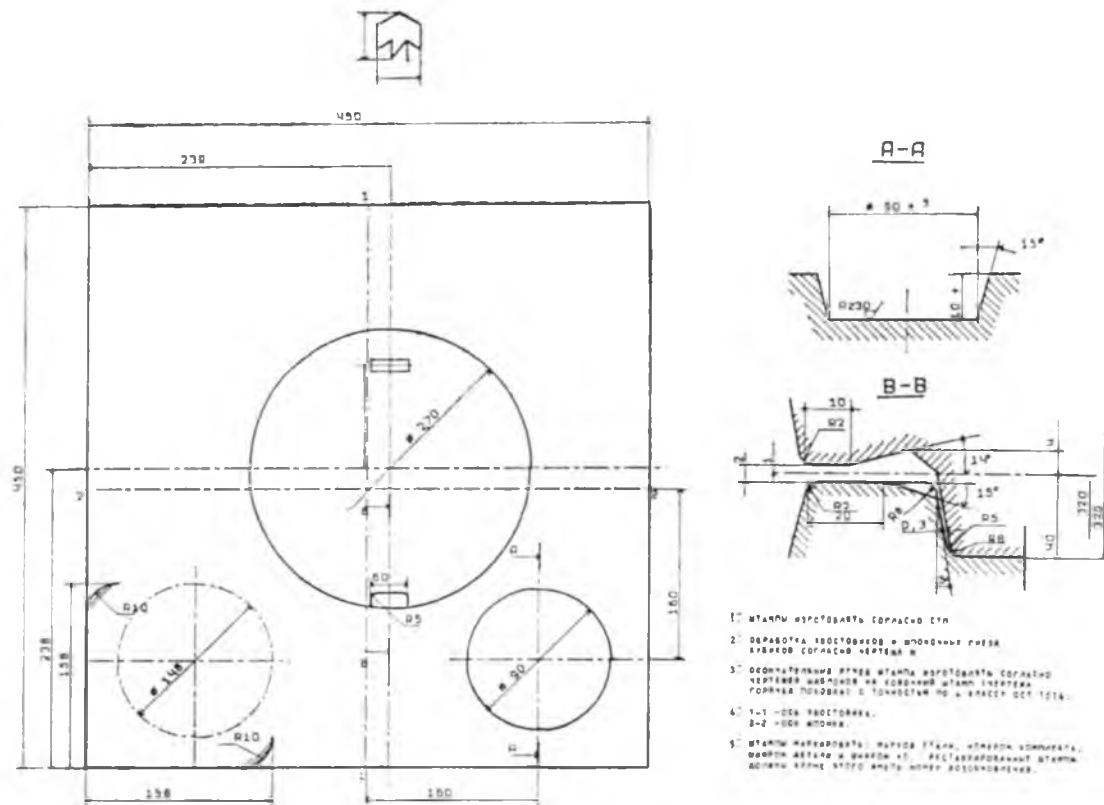


Рис. 7.1.6 Чертеж штампа, полученный на графопостроителе в САПР

Групповая технология и групповой штамп (с использованием стандартных блоков и вставок) проектируются на комплексную поковку (рис. 7.17). Этот принцип давно нашел применение в практике обработки резанием (метод С. П. Митрофанова). Сущность его заключается в следующем: создается групповая технология обработки комплексной (фиктивной) детали, которая включает в себя элементы конструкций всех деталей, входящих в группу близких по конфигурации. Металлорежущий инструмент настраивают на обработку комплексной детали, в результате без переналадки или с минимальной переналадкой можно обработать все детали данной группы. Комплексная деталь для группы деталей машин и групповая комплексная поковка показаны на рис. 7.18.

Схема проектирования групповой технологии и штампов с помощью ЭВМ для осесимметричных поволоков, по В. А. Найту (Великобритания), представлена на рис. 7.19. Проектирование поковки начинают с кодирования профиля обработанной детали, который задают в виде координат точек перелома линии, очерчивающей контуры сечения детали и выбранной линии разреза штампов. Эти координаты записывают на перфокарты с помощью цифровой системы кодирования. Затем на основе формализованного набора правил конструирования определяют параметры поковки — штамповочные уклоны, радиусы скруглений, припуски на обработку резанием, и на профиль детали наносят профиль поковки. На этой стадии включаются программы расчета массы поковки, формы и размеров облойного мостика, размеров заготовки, сил штамповки и работы деформации. Массу поковки и тип линии разреза штампов используют в качестве исходных данных в программе назначения допусков в соответствии со стандартами Великобритании, затем все данные выдаются на чертеже поковки в виде таблицы. Кон-

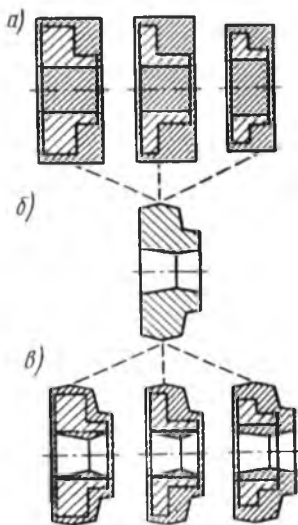


Рис. 7.17. Детали, вытачиваемые из прутка (а); комплексная поковка (б); детали, вытачиваемые из поковки (в)

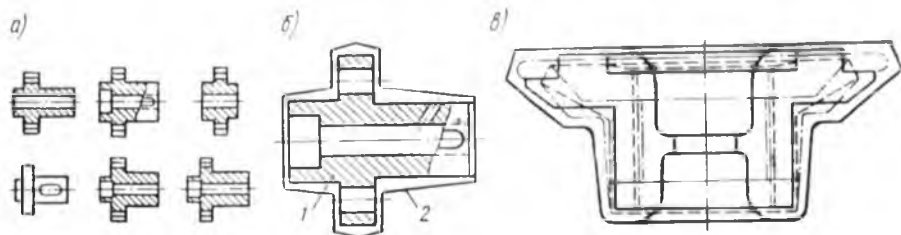


Рис. 7.18. Комплексная деталь 1 и типовая комплексная поковка 2 (б) для группы родственных деталей (а); комплексная поковка (в)

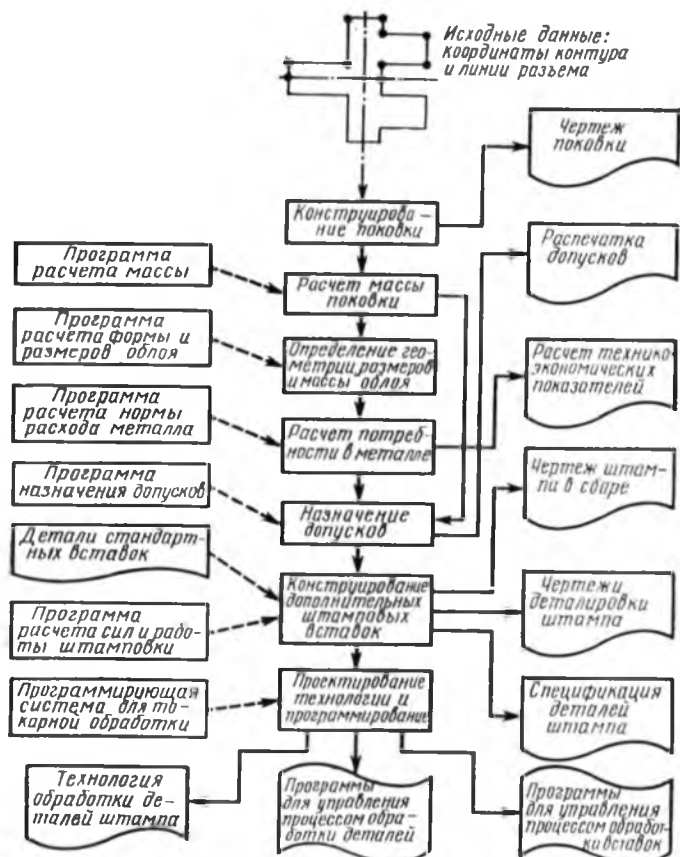


Рис. 7.19. Схема автоматизированного проектирования групповой технологии и штампов для осесимметричных поволоков по В. А. Найту (Великобритания)

туры стандартных штамповых вставок и выталкивателей подстраиваются (дорисовываются) к профилю поковки. После этого получают чертеж штампа в сборе и чертежи отдельных вставок и выталкивателей, а также спецификацию деталей штампов. Затем рассчитываются технико-экономические показатели процесса штамповки.

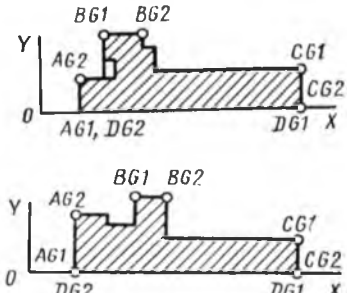
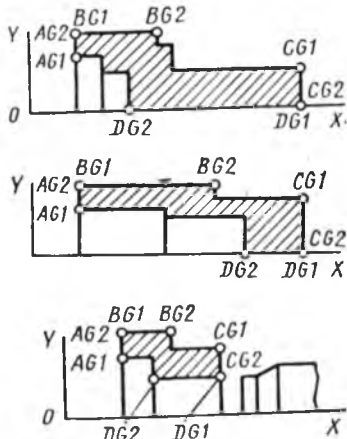
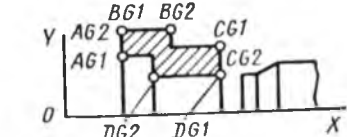
3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ И РУЧЬЕВ ШТАМПОВ ГКМ

При проектировании оснастки и технологического процесса штамповки на ГКМ необходимо получить чертеж поковки, технологическую карту штамповки, чертежи для холодной и горячей поволоков и ручьев заготовительных переходов.

Блок-схема алгоритма проектирования оснастки и технологии штамповки на ГКМ показана на рис. 7.5. Метод кодирования чертежа детали — см. рис. 7.2 и табл. 7.1.

Большое разнообразие форм поковок типа тела вращения и возможных вариантов технологического процесса их изготовления на ГKM предполагают творческое участие технологов в процессе проектирования. Для САПР разработана классификация всех возможных форм поковок типа тела вращения (табл. 7.2), признаками группирования в которой являются форма сечений поковок и связанные с ней особенности технологических операций штамповки.

Таблица 7.2. Классификация поковок типа тела вращения, штампуемых на ГKM

Тип поковки	Эскиз
I. Без отверстия: I-1 — без радиального кольцевого углубления; I-2 — с радиальным кольцевым углублением	
II. С глухим отверстием, оформляемым: II-1 — прошивкой II-2 — раздачей	
III. Со сквозным отверстием	

Классификация позволяет расчленить процесс проектирования на последовательные этапы преобразования информации и построить такую схему расчетов, при которой после решения всех вопросов, связанных со специфическими особенностями получения поковки данного типа, она принимает форму поковки предшествующего типа. Например, для поковки типа III после конструирования пробивного перехода дальнейшие расчеты ведут по правилам проекти-

рования для поковок типа II, а после расчета прошивных операций по правилам проектирования для поковок типа I.

Для отнесения данной поковки к тому или иному типу необходим надежный способ распознавания ее формы. Геометрический образ детали (см. рис. 7.2) однозначно описывается параметрами $X_1, Y_1, R_1; X_2, Y_2, R_2; \dots; X_i, Y_i, R_i; \dots; X_n, Y_n, R_n$, где n — число вершин контура, X_i и Y_i ($i=1, \dots, n$) — координаты i -й точки контура сечения, R_i — радиус скругления этой вершины, вводимыми в память ЭВМ с кодировочного бланка (см. табл. 7.1).

Анализ координат экстремальных вершин контура (табл. 7.3) позволяет достаточно просто решить задачу распознавания: если ордината вершины $AG1-Y_{AG1}=0$, то поковка относится к типу I; если $Y_{DG1}=0$ и $Y_{AG1} \neq 0$, то — к типу II, если $Y_{DG2} \neq 0$, то — к типу III (см. табл. 7.2).

Т а б л и ц а 7.3. Идентификаторы экстремальных вершин

Идентификатор	Признак		
<i>AG1</i>	$Y_{\min}$ из множества точек с $X_{\min}$		
<i>AG2</i>	$Y_{\max}$	То же	$X_{\min}$
<i>BG1</i>	$X_{\min}$	»	$Y_{\max}$
<i>BG2</i>	$X_{\max}$	»	$Y_{\max}$
<i>CG1</i>	$Y_{\max}$	»	$X_{\max}$
<i>CG2</i>	$X_{\min}$	»	$Y_{\max}$
<i>DG1</i>	$X_{\max}$	»	$Y_{\min}$
<i>DG2</i>	$X_{\min}$	»	$Y_{\min}$

Рассмотрим алгоритмы расчета и проектирования ручьев заготовительных переходов.

Проектирование наборных переходов для поковок типа I. Для поковок типа I-1, штампуемых из прутка диаметром d , проектирование i -го наборного перехода (рис. 7.20, *д*) начинают с построения *расчетного* конического набора (рис. 7.20, *а*), который вписывают в контур окончательного формовочного ручья (ОФР) (рис. 7.20, *е*) в следующем порядке:

1. Торцовую поверхность пуансона ОФР *AG1—AG2* совмещают с торцовой поверхностью конического набора *AR1—AR2*, торцовую поверхность матрицы ОФР *CG1—CG2* — с торцовой поверхностью конического набора *CR1—CR2* (рис. 7.20, *б*). При этом контур линии разъема ($л'р'$ — $лр$) разрывается.

2. Проверяют вписываемость расчетного конического набора на участке *AG2—л'р'*. Если он вписывается, выполняют указания п. 3 (см. ниже). В противном случае из точки *Е* проводят вектор $\bar{p}$, касательный к дуге радиуса R (рис. 7.20, *в*). Находят точку *Л* пересечения вектора $\bar{p}$, с контуром матрицы, получают отрезок *ЕЛ* контура наборного перехода. Находят точку *Л'* (рис. 7.20, *г*), для этого проводят вектор $\bar{q}$, касательный к дуге радиусом R , так, чтобы объем составного конуса (образующая *ЕЛЛ'*) был равен объему расчетного (образующая *ЕСЛ1*).

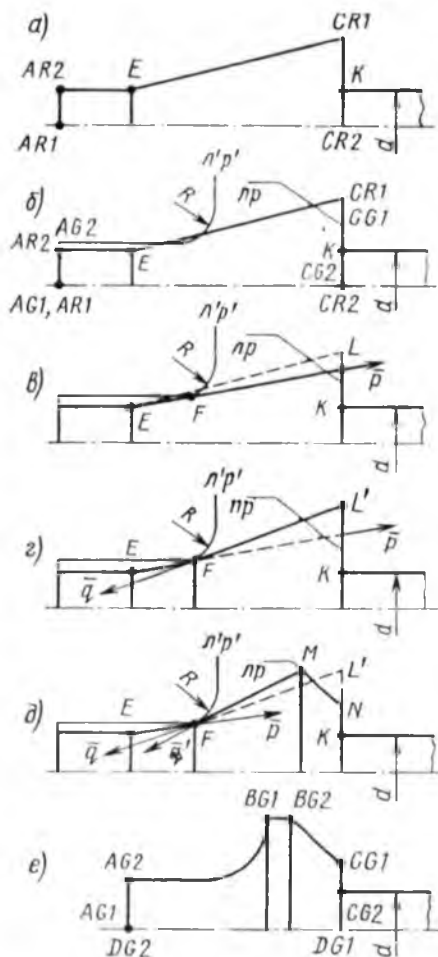


Рис. 7.20. Построение наборных переходов для поковки типа 1-1 (без радиального кольцевого углубления и без отверстия)

Построение наборных переходов для поковок без отверстия с радиальным кольцевым углублением типа 1-2 начинают с приведения поковки типа 1-2 к типу 1-1 (рис. 7.21). Если провести прямую $e-e$, параллельную оси OX и касательную к дуге в точке наибольшего углубления, то вертикальная прямая $c-c$, проведенная через точку касания T , разделит поковку на две части: левую и правую. Задача приведения поковки к типу 1-1 заключается в замене левой части поковки на усеченный конус K , диаметр большего основания которого равен диаметру кольцевого углубления, а объем равен объему левой части поковки. При этом угол наклона β образующей усеченного конуса не должен быть меньше штамповочного уклона

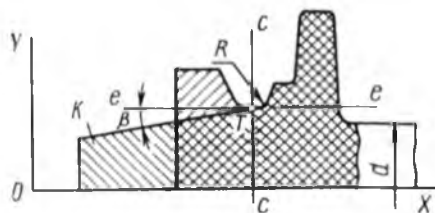


Рис. 7.21. Построение наборного перехода для поковки типа 1-2 (с радиальным кольцевым углублением без отверстия)

3. Проверяют вписываемость полученного конуса в контур матрицы ОФР (участок $лр-K$ на рис. 7.20, $з$). Если он вписывается, то полученный контур перехода принимают в качестве наборного. Иначе набор должен происходить в пуансоне и в матрице, и для построения требуемого контура наборного ручья вектор $\bar{q}$ поворачивают вокруг дуги радиуса R до положения $\bar{q}'$, при котором точка M его пересечения с контуром поковки (рис. 7.20, $д$) образует составной конус, обеспечивающий равенство объема расчетного конуса сумме объемов составного конуса (образующая EFM) и части поковки с образующей MN . Точка M определяет положение линии разреза между пуансоном и матрицей в данном наборном переходе.

в пуансоне. Проектирование переходов для окончательной поковки типа I-2 заключается в расчете наборных переходов, необходимых для формирования левой части поковки из конуса K по методике, изложенной для поковок типа I-1.

Для поковок, имеющих n радиальных кольцевых углублений, последовательно для каждого i -го кольцевого углубления, начиная с крайнего слева, строят i -й усеченный конус K (см. рис. 7.21) и проектируют i -й наборный переход.

Проектирование переходов для поковок типа II. Способ выполнения глухого отверстия: прошивкой или раздачей — зависит от формы поковки, в частности, от формы ее отверстия. Способ выполнения отверстий для гладкостенной втулки (рис. 7.22) с внутренним диаметром d_0 и наружным D_0 выбирают в соответствии с рекомендациями А. В. Ребельского по показателю

$$m = (H - a_1)/a_2, \quad (7.1)$$

где H — глубина глухой полости;

$$a_1 = \max[(0,3 - 0,01d_0)a_2; 0,1a_2];$$

$$a_2 = \max\{0,2d_0; \min[1,2\sqrt{D_0^2 - d_0^2}; (1,7 - 0,01d_0)d_0]\}.$$

Формулу (7.1) можно применить и для общего случая, когда наружный контур и контур отверстия поковки имеют произвольные формы, при этом используемые в расчетах значения D_0 и d_0 определяют на соответствующем участке контура (рис. 7.23) по формулам:

$$D_0 = \frac{1}{2H} \sum_{i=AG2}^{CG1'} (Y_i + Y_{i+1}) (X_i - X_{i-1}); \quad (7.2)$$

$$d_0 = \frac{1}{2H} \sum_{j=DG2}^{AG1} (Y_j + Y_{j+1}) (X_{j+1} - X_j), \quad (7.3)$$

где i — номер вершины наружного контура на участке $AG2-BG1-BG2-CG1'$; j — номер вершины контура отверстия на участке $DG2-AG1$.

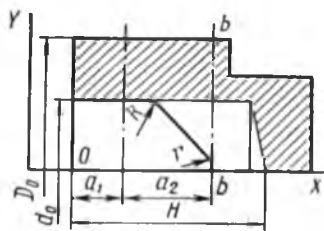


Рис. 7.22. Построение прошивного перехода для поковки типа II-1 (с глухим отверстием)

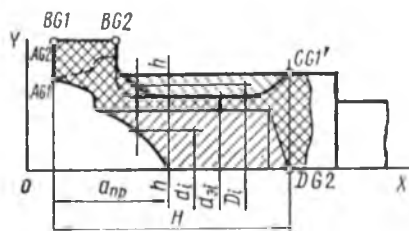


Рис. 7.23. Построение наборного перехода для поковки типа II-2 (с глухим отверстием, получаемым раздачей)

Отверстие небольшой глубины ($m < 0,2$) получают в окончательном формовочном ручье с помощью пуансона; поковку с таким отверстием относят к типу I.

При $0,2 < m \leq 0,5$ поковку относят к типу II-1. Для получения отверстия необходимо проектировать дополнительный переход, уменьшающий степень деформации в окончательном формовочном ручье и обеспечивающий получение поверхности, необходимой для последующего центрирования заготовки. Отверстия в поковках типа II-1 получают прошивкой в окончательном формовочном ручье.

При $m > 0,5$ поковку относят к типу II-2. Переходы для штамповки поковок типа II-2 с глухим отверстием, оформляемым раздачей, проектируют в три этапа: расчет заготовки под прошивку (приведение поковки типа II к типу I); проектирование прошивных и наборных переходов для приведенной поковки.

Приведение поковки к типу I заключается в проектировании перехода, обеспечивающего получение центрирующего отверстия, т. е. заготовки под прошивку. Ее контур в правой части от сечения $h-h$ (рис. 7.23) представляет собой эпюру диаметров поковки. В левой части от $h-h$ параметры рассчитывают следующим образом. Определяют глубину предварительной наметки отверстия под прошивку $a_{пр}$, обеспечивающей $m \leq 0,2$; рассчитывают D_0 и d_0 по (7.2) и (7.3) при $H = a_{пр}$, диаметр внешнего контура поковки на этом же участке $D_1 = \sqrt{d_1^2 - d_{эл}^2}$, где $d_{эл}$ — диаметр эпюры.

Данный переход характеризуется всеми признаками формовочного, хотя окончательную форму поковка получает после прошивных операций.

Прошивной i -й переход проектируют следующим образом. На расстоянии $a_i = a_1 + a_2(i-1)$ от торца поковки проводят вертикальную линию $b-b$ (см. рис. 7.22). Радиусом $r = 0,1 d_0$ проводят окружность с центром на оси OX , касающуюся линии $b-b$. Под углом 60° к оси OX проводят касательную к этой окружности до пересечения с контуром сечения. Угол в точке пересечения округляется дугой радиуса $R = 0,4 d_0$.

После проектирования прошивных переходов проектируют наборные переходы для формирования внешнего контура заготовки под прошивку по правилам, изложенным для поковок типа I.

Переходы для поковок типа III проектируют в три этапа: приводят поковки типа III к типу II, рассчитывают прошивной переход и наборные переходы для приведенной поковки.

Приведение поковок к типу II заключается в определении параметров пленки под просечку (рис. 7.24). Глубина просечки

$$l_{пр} = \min \left\{ d_0, \frac{(D_0^2 - d_0^2) [\sigma_{см}]}{4d_0\sigma_{ср}} \right\},$$

где d_0 — диаметр пленки под просечку; D_0 — диаметр поковки в месте расположения пленки; $[\sigma_{см}]$ — допустимое напряжение смятия материала поковки при температуре просечки; $\sigma_{ср}$ — предел сопротивления срезу при той же температуре.

Все переходы, вплоть до перехода прошивки, проектируют по правилам для поковок типа II. Проектирование просечки (рис. 7.24) может быть сведено к определению формы горячей поковки.

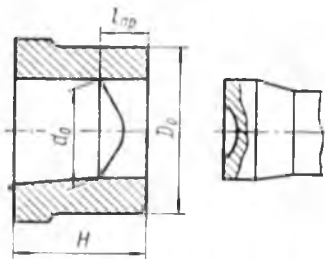


Рис. 7.24. Расчет пленки под просечку

Эскизы детали и соответствующей поковки, полученные с помощью ЭВМ, показаны на рис. 7.6; технологическая карта процесса штамповки — на рис. 7.9; эскизы переходов (ручьев) штампа ГKM, полученные на ЭВМ, — на рис. 7.8.

При проектировании на ЭВМ технологических процессов и штампов для поковок типа тела вращения экономится в среднем 3,5 % металла и время проектирования с учетом времени кодирования и декодирования информации уменьшается в среднем в 15 раз.

4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ПОКОВОК СЛОЖНЫХ ФОРМ

САПР индивидуальных молотовых штампов. Выбор рационального варианта технологии и конструкции штампа для штамповки на молотах поковок сложных форм в значительной степени зависит от их конфигурации. В заготовительных ручьях стремятся к получению такой заготовки, площади поперечных сечений которой были бы по возможности близки к суммарным площадям соответствующих сечений поковки и облоя. Такая заготовка обеспечивает не только получение качественной поковки с равномерным облоем при наименьшем расходе металла, но и уменьшает износ дорогостоящих штамповочных ручьев. Поэтому при проектировании ручья или комбинации ручьев используют расчетную заготовку, эпюру сечений расчетной заготовки и коэффициенты подкаты. *Расчетной* называют условную заготовку с круглыми поперечными сечениями, площади которых равны площадям соответствующих сечений поковки.

Расчет эпюры сечений — очень трудоемкий процесс, поэтому при ручном проектировании определяют (да и то приблизительно) площади ограниченного числа поперечных сечений поковки. Это приводит к большим погрешностям при построении эпюры и, следовательно, к грубым ошибкам при определении массы и формы заготовки и размеров заготовительных ручьев. Применение ЭВМ для расчета эпюры сечений при значительно меньших затратах времени повышает точность расчетов.

В описываемой САПР последовательно выполняют следующие операции: рассчитывают эпюру сечений и диаметров поковки, строят эпюру диаметров расчетной заготовки, строят элементарные эпюры, выбирают заготовительные ручьи, рассчитывают расход и раскрой металла, печатают технологическую карту.

Состав входной информации: оперативная информация, состоящая из конструктивных и технологических данных (размеры и форма элементов поковки, марка стали, число деталей на изделие, число деталей из поковки, вид нагрева, масса детали и т. д.); сопроводительная (номер детали, поковки, изделия, их наименование

и т. д.) и нормативно-справочная (данные справочников, стандартов, заводских нормалей, состав оборудования в цехе и т. д.).

Состав выходной информации: эскизы и табуляграммы эпюры диаметров поковки, заготовки, типы и число заготовительных ручьев, размеры заготовки, технологическая карта штамповки.

Для несимметричных поволоков выделено семь типовых элементов поковки, из них шесть типа головки и один типа стержня и разработаны соответствующие им ТКС для ввода в ЭВМ.

В ЭВМ вводят также логическую формулу

$$e_1 e_2 \dots e_i \dots e_n, \quad (7.4)$$

где $e_i = 1, 2, 3, \dots, 7$ — код элемента (1, 2, 3, 4, 5, 6 — коды разных типов головок, 7 — код стержня); $i = 1, 2, \dots, n$ — номер элемента в поковке (слева направо); n — число элементов в поковке ($n \leq 18$).

Все линейные размеры элементов в ТКС задают десятичными числами с точностью до 0,1 мм, углы — целыми числами в градусах.

Если в поковке есть нетиповые элементы, то их разбивают на несколько частей, каждая из которых соответствует одному из типовых. Это особенно относится к кодированию участков сопряжения элементов поковки.

Алгоритм расчета эпюры диаметров поковки. Поковку в соответствии с описанной системой кодирования разбивают на несколько элементов. Эпюру диаметров рассчитывают последовательно для каждого элемента поковки, определяя площади поперечных сечений, взятых через шаг $\delta l = 1$ мм вдоль оси поковки, затем рассчитывают диаметры условных круглых сечений. В результате получают точечную эпюру, состоящую из элементов, каждый из которых разбит по горизонтальной оси на $(L_i/\delta l + 1)$ частей, где L_i — длина i -го элемента. Профиль эпюры вдоль оси поковки отражает закономерность изменения объемов частей поковки вдоль ее оси.

Площади сечений сложной формы представляют как суммы площадей типовых сечений, программы расчета которых введены в ЭВМ в виде стандартных процедур.

В общем случае элементам поковки, имеющим глубокие выступы и выемки, будут соответствовать элементы эпюры с резким очертанием профиля, которые необходимо, как и при ручном проектировании, приводить к плавной форме. При расчете на ЭВМ профили элементов типа головок аппроксимируются параболой, типа стержня — прямой. Если в логической формуле поковки (7.4) несколько рядом стоящих кодов элементов $e_i \neq 7$, т. е. стыкуются две головки, то соответствующие им эпюры сглаживаются одной параболой. Параметры сглаживающих линий рассчитывают из условий сохранения равенства объемов заготовки с точечным профилем и заготовки с аппроксимированным профилем, состоящим из участков прямых и парабол.

Построенная таким образом кусочно-непрерывная эпюра (рис. 7.25, а) представляет собой профиль заготовки, которую необ-

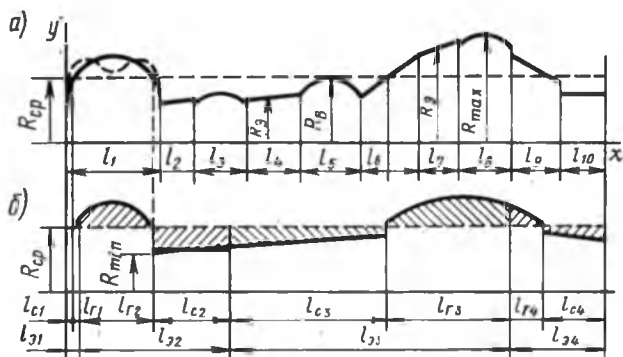


Рис. 7.25 Эпюра диаметров расчетной заготовки (а) и построение элементарных эпюр (б):

$l_1, l_2, \dots$ — длины 1-го, 2-го и т. д. элементов; l_{c1}, l_{c2} и т. д. и l_{g1}, l_{g2} и т. д. — длины элементов стержней и головок; l_{g1}, l_{g2} и т. д. — длины элементарных эпюр

ходимо получить в заготовительных ручьях или периодической прокаткой. Эту эпюру, называемую эпюрой диаметров расчетной заготовки, используют для выбора и конструирования заготовительных ручьев.

Алгоритм расчета переходов штамповки. Для построения расчетной заготовки с учетом облоя увеличивают диаметры полученной эпюры на значения, соответствующие площадям сечений облоя на каждом участке эпюры.

Проводят среднюю линию $y = R_{cp}$, где R_{cp} — радиус средней расчетной заготовки — цилиндра объемом и длиной, равными соответственно объему и длине расчетной заготовки (рис. 7.25, а). Те части эпюры, где радиус эпюры $R_3 > R_{cp}$, называют *головками заготовки*, где $R_3 < R_{cp}$ — *стержнями заготовки*. Расчетную заготовку делят на элементарные расчетные заготовки, состоящие из одного стержня и одной головки, так, чтобы избыточный (по сравнению с объемом средней заготовки) объем металла в стержнях компенсировал недостающий объем металла в головках. Определяют тип и число переходов для каждой из элементарных заготовок, затем выбирают наиболее трудоемкие переходы. Соотношение размеров, расположенных рядом по оси головок и стержней, обуславливает число и типы переходов и трудоемкость штамповки.

Элементарные эпюры, соответствующие элементарным расчетным заготовкам, рассчитывают в следующем порядке.

Для выделения стержней и головок используется алгоритм, в котором каждый элемент ($j = 1, 2, \dots, n$) эпюры характеризуется тремя параметрами k_j, b_j, l_j и признаком кривой сглаживания (прямая или парабола). Параметры k_j и b_j — коэффициенты уравнения прямой $R_{ip} = k_j x_i + b_j$ или параболы $R_{ip} = k_j (x_i - l_j/2)^2 + b_j$, l_j — длина j -го элемента. Кусочно-непрерывную эпюру, состоящую из прямых и парабол, вновь заменяют точечной, рассчитанной с заданным шагом ($\delta l = 1 \text{ мм}$). На тех участках, где точечная эпюра расположена

выше средней линии $y=R_{cp}$, ее аппроксимируют параболой, на остальных участках — прямой (рис. 7.25, б). С помощью алгоритма аппроксимации находят такие параметры кривых сглаживания, которые обеспечивают равенство объемов соответствующих частей заготовок с кусочно-непрерывной и сглаженной эпюрами.

В общем случае недостающий объем головки v_r рассчитывают по формулам

$$v_r = V_r - \pi R_{cp}^2 l_r; \quad V_r = \pi \int_0^{l_r} \left[b_r + k_r \left(x - \frac{l_r}{2} \right)^2 \right]^2 dx,$$

где V_r — объем головки; l_r — длина элемента — головки; b_r и k_r — параметры параболы сглаживания.

Избыточный объем стержня v_c рассчитывают по формулам

$$v_c = \pi R_{cp}^2 l_c - V_c; \quad V_c = \pi \int_0^{l_c} (b_c + k_c x)^2 dx,$$

где V_c — объем стержня; l_c — длина элемента — стержня; b_c и k_c — параметры прямой сглаживания.

Алгоритм приведения сложной расчетной заготовки к ряду элементарных показан на укрупненной блок-схеме (рис. 7.26). В соответствии с этим алгоритмом рассматривают последовательно (слева направо) расположенные рядом попарно 1-й, 2-й, ..., j -й,

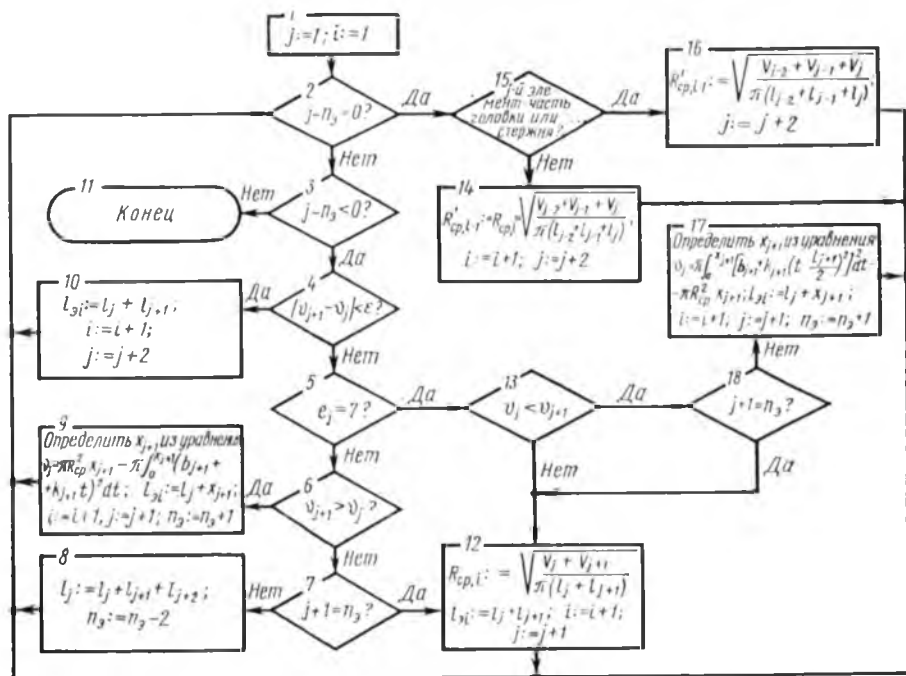


Рис. 7.26. Укрупненная блок-схема алгоритма построения элементарных эпюр

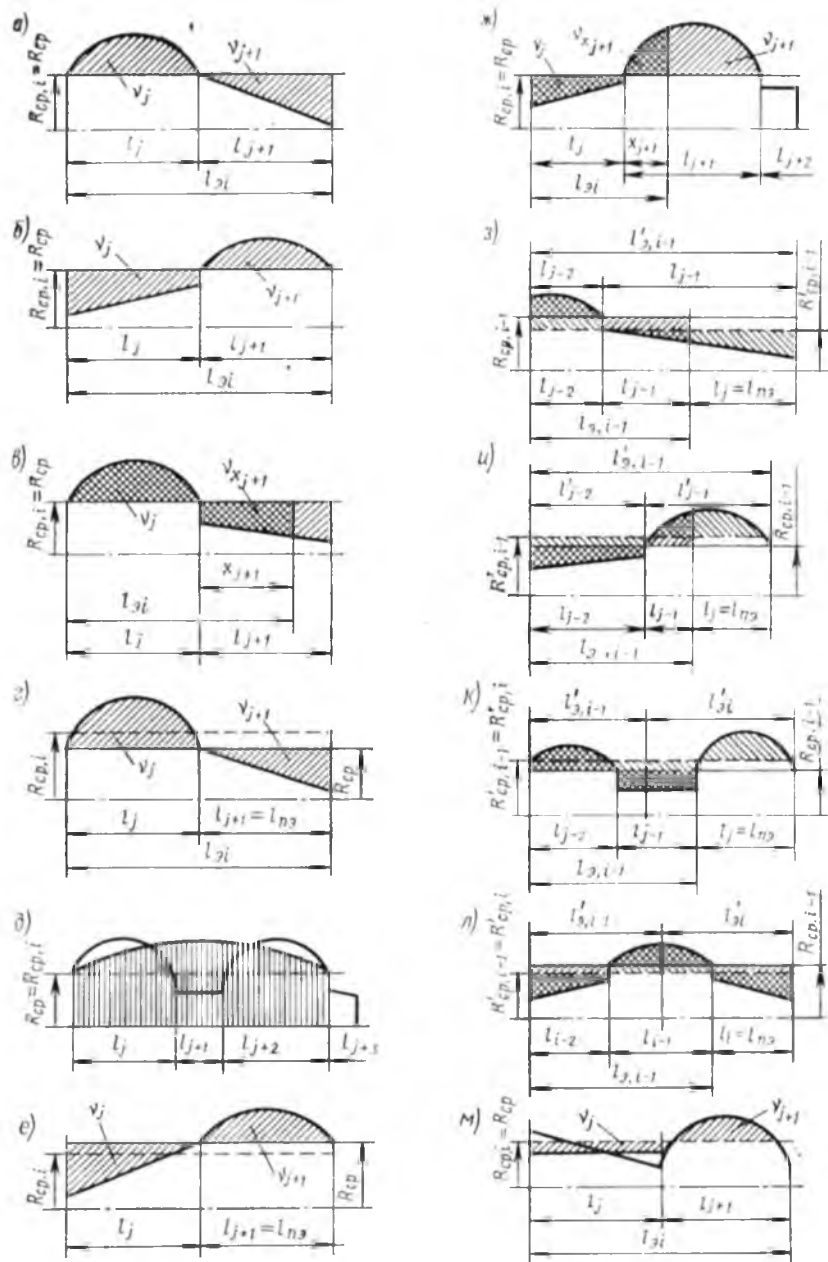


Рис. 7.27. Варианты построения элементарных эпюр

$(j+1)$ -й, ..., n_3 -й элементы эпюры (рис. 7.25 и 7.27). Из этих пар элементов или их частей составляют 1-ю, 2-ю, ..., i -ю, ..., n_{33} -ю элементарные эпюры таким образом, чтобы внутри каждой из них недостающий объем головки (или ее части) был равен избыточному объему стержня (или его части).

В блоке 1 счетчики устанавливают число элементов $j=1$ и число элементарных эпюр $i=1$, затем (блок 2) проверяют, является ли j -й элемент последним, и если он не последний ($j \neq n_3$) и не просмотрены все элементы ($j < n_3$, блок 3), то проверяют равенство (с заданной точностью ϵ) избыточного и недостающего объемов (блок 4). Если объемы приблизительно равны ($v_{j+1} \approx v_j$), то (блок 10) длина i -й эпюры l_{ji} будет равна сумме длин j -го и $(j+1)$ -го элементов (рис. 7.27, а, б). После этого переходят к рассмотрению следующих $(j+2)$ -го и $(j+3)$ -го элементов для построения $(i+1)$ -й элементарной эпюры (выход на блок 2).

Если при проверке равенства объемов (блок 4) выяснится, что они различны ($|v_{j+1} - v_j| > \epsilon$) и j -й элемент является головкой (не выполнено условие блока 5), то определяют (блок 6), больше ли избыточный объем металла стержня v_{j+1} недостающего объема головки v_j ? При выполнении этого условия проводят (блок 9) линию раздела элементарных эпюр внутри $(j+1)$ -го элемента длиной l_{j+1} на расстоянии x_{j+1} от левого конца стержня (рис. 7.27, в). При этом x_{j+1} определяют из условия $v_j = v_{x_{j+1}}$ (см. рис. 7.26, блок 9). При этом длина i -й элементарной эпюры l_{ji} будет равна сумме $l_j + x_{j+1}$ (l_j — длина j -го элемента), а оставшуюся правую часть стержня в дальнейшем рассматривают как первый слева j -й элемент новой $(i+1)$ -й элементарной эпюры (переход к блоку 2). Если же избыточный объем металла стержня меньше недостающего металла головки, т. е. не выполнено условие в блоке 6, то определяют (блок 7), является ли $(j+1)$ -й элемент последним. Если он последний ($(j+1) = n_3$), то внутри i -й элементарной эпюры проводят (блок 12) новую среднюю линию (рис. 7.27, г), при этом средний радиус i -й эпюры будет больше среднего радиуса эпюры всей поковки: $R_{ср, i} > R_{ср}$. Если $(j+1)$ -й элемент не является последним [$(j+1) \neq n_3$] (см. условие блока 7), то объединяют (блок 8) в одну головку (рис. 7.27, д), j -й, $(j+1)$ -й и $(j+2)$ -й элементы, тем самым уменьшая число элементов n_3 на два, и переходят к блоку 2, рассматривая вновь полученный j -й элемент как первый слева в той же i -й элементарной эпюре.

Если первый слева j -й элемент является стержнем (выполнено условие блока 5) и избыточный в нем объем v_j больше недостающего объема v_{j+1} головки (не выполнено условие блока 13) и $(j+1)$ -й элемент является последним (выполнено условие блока 18), то проводят (блок 12) новую среднюю линию на участке i -й элементарной эпюры (рис. 7.27, е). Затем переходят к блоку 2. Так же поступают в случае, если выполнено условие блока 13 и $(j+1)$ -й является последним элементом (выполнено условие блока 18).

Если $(j+1)$ -й элемент не последний $j+1 \neq n_3$ (см. блок 18), то проводят (блок 17) линию раздела элементарных эпюр на расстоя-

нии x_{j+1} (рис. 7.27 ж). При этом x_{j+1} — длина левой части головки ($j+1$)-го элемента такова, что недостающий объем $v_{x_{j+1}}$ этой части равен избыточному объему v_j стержня (j -го элемента). Оставшуюся правую часть головки рассматривают в дальнейшем в качестве первого слева элемента следующей ($i+1$)-й элементарной эпюры (блок 2).

Может оказаться, что для построения последней эпюры останется только один элемент или его часть (выполнение условия блока 2). Это может получиться в результате объединения в одну элементарную эпюру двух расположенных рядом элементов, если их недостающие и избыточные объемы различны менее чем на ϵ (блоки 4 и 10) и если необходимо было провести (блоки 9 или 17) новые средние линии внутри некоторых элементарных эпюр вследствие недостатка (или избытка) объема металла в рядом расположенных элементах. Если (блок 15) при этом оставшийся элемент является частью стержня (рис. 7.27, з) или головки (рис. 7.27, и), то внутри предыдущей ($i-1$)-й элементарной эпюры проводят (блок 16) новую среднюю линию таким радиусом $R_{\text{ср}, i-1}$, чтобы в эту эпюру вписался последний элемент, а объем заготовки для ($i-1$)-й элементарной эпюры был бы равен сумме объемов ($j-2$)-го, ($j-1$)-го и j -го элементов.

Если оставшийся элемент является целой головкой или стержнем (рис. 7.27, к, л), то из двух элементов ($i-1$)-й элементарной эпюры и оставшегося элемента образуют две новых элементарных эпюры, проводя (блок 14) линию раздела внутри ($j-1$)-го элемента и определяя новую среднюю линию, общую для ($i-1$)-й и i -й элементарных эпюр (блок 14).

Заготовительные технологические переходы штамповки выбирают по табл. 7.4—7.6. В табл. 7.5—7.6: a_{1k} , a_{2k} , a_{3k} — коэффициенты четырех ($k=1, 2, 3, 4$) гипербол для пяти типов формул ($m=1, 2$,

Таблица 7.4. Формулы для расчета трудоемкости переходов штамповки

Масса поковки g_n , кг	m	a_{mk}
$g_n > 1$	1	$a_{1k} = a_{1k} + a_{2k} / (\beta_i - a_{3k})$
$0,5 \leq g_n \leq 1$	2	$a_{2k} = 2a_{1k} - 1$
$0,1 < g_n \leq 0,5$	3	$a_{3k} = 5a_{1k} - 4$
$0,05 < g_n \leq 0,1$	4	$a_{4k} = 10a_{1k} - 9$
$g_n \leq 0,05$	5	$a_{5k} = 20a_{1k} - 19$

Таблица 7.5. Коэффициенты гипербол (см. табл. 7.4.)

Коэффициент	Номер гипербола			
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
a_{1k}	1,013	1,037	1,047	1,074
a_{2k}	0,0364	0,0406	0,0432	0,0768
a_{3k}	0	1	2	3,55

Таблица 7.6. Выбор ручьев

Код ручья T_{pi}	Ручей	Коэф- фици- ент под- катки ручья K_{pi}	Выбор ручья (перехода)	
1	Окончательный	1,05	$\alpha_{pi} \leq \alpha_{m1}$	$k_{ci} = 0$
2	Пережимной	1,2	$\alpha_{m1} < \alpha_{pi} < \alpha_{m2}$	
3	Подкатной открытый	1,3	$\alpha_{m1} < \alpha_{pi} \leq \alpha_{m3}$	
4	Подкатной закрытый	1,6	$\alpha_{m3} < \alpha_{pi} \leq \alpha_{m4}$	
5	Протяжной	1,8	$\alpha_{pi} > \alpha_{m4}$	$k_{ci} = 0$
6	Протяжной и пережим- ной	2,16		$0 < k_{ci} \leq 0,02$
7	Протяжной и подкатной открытый	2,34		$0,02 < k_{ci} \leq 0,05$
8	Протяжной и подкатной закрытый	2,88		$0,05 < k_{ci}$
9	Протяжной, формовоч- ный и подкатной открытый	2,81		—
10	Предварительный	1,1	—	

3, 4, 5); $\beta_i = l_{ai}/2R_{ср, i}$ — коэффициент, учитывающий трудоемкость перемещения металла вдоль оси внутри i -й элементарной эпюры.

Для каждой элементарной заготовки выбирают заготовительный ручей по табл. 7.6.

Аналогично выбирают технологические переходы при штамповке ступенчатой цилиндрической заготовки, имеющей эпюру с разными значениями $R_{ср, i}$ из цилиндрической заготовки радиусом $R_{ср}$ (элементарная эпюра с номером $i=0$). Из всех T_{pi} ($i=0, 1, \dots, n_{э,э}$) выбирают максимальное значение $T_p = \max\{T_{pi}\}$. Далее T_p дополнительно корректируют в соответствии с методикой А. В. Ребельского.

Алгоритм выбора ручьев штампа рассмотрим на примере поперечной штамповки с прямой линией разреза удлиненных в плане поковок с примерным отношением длины поковки к средней ширине в плане $> 2,5$. К этим поковкам могут быть отнесены поковки с простыми поперечными сечениями (круглые, трапециевидальные и т. д.), получаемые при незначительном выдавливании металла, и поковки со сложными поперечными сечениями (ребристые, двутавровые и т. д.), получаемые при значительном выдавливании металла. Для этих поковок в качестве заготовительных необходимы

операции для распределения металла исходной заготовки в соответствии с величиной площади поперечных сечений поковки. При этом могут быть использованы формовочные, подкатные открытые, подкатные закрытые и протяжные заготовительные ручьи или их комбинации. Угруппенная блок-схема алгоритма приведена на рис. 7.28.

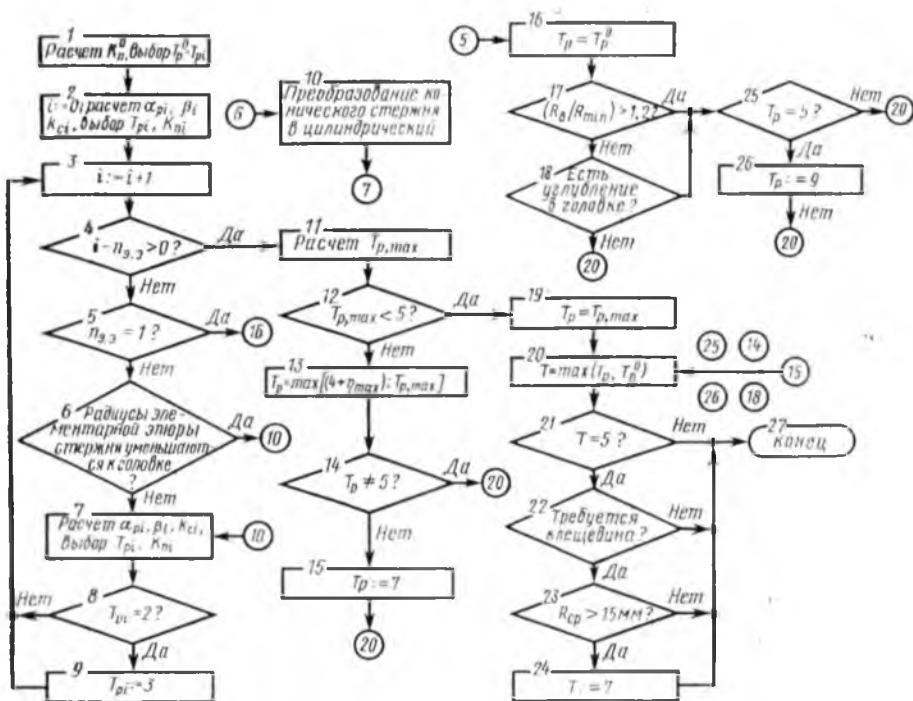


Рис. 7.28. Блок-схема алгоритма выбора ручьев штампа

1. В соответствии с полученными размерами расчетной заготовки определяют (блок 1) общий необходимый коэффициент подкатки $K_n^0 = R_{\max}^2 / R_{\text{ср}}^2$, где $R_{\max}$ — максимальный радиус эпюры (см. рис. 7.25); из табл. 7.6 по коэффициенту $K_{\text{п}i} \geq K_n^0$ определяют номер (код) $T_p^0 = T_{pi}$ заготовительного ручья.

2. Устанавливают (блок 2) номер элементарной эпюры $i=0$ и рассчитывают коэффициенты:

$\alpha_{pi} = \max R_{\text{ср}i} / R_{\text{ср}}$ — учитывает перемещение металла поперек оси при штамповке ступенчатой цилиндрической заготовки, имеющей эпюру с разными значениями $R_{\text{ср}i}$ из цилиндрической заготовки $R_{\text{ср}}$;

$\beta_i = l_3 / \left(\frac{1}{n_{3,2}} \sum_{i=1}^{n_{3,2}} R_{\text{ср}i} \right)$ — учитывает перемещение металла вдоль оси;

$k_{ci}=0$ — конусность стержня.

По табл. 7.6 выбирают код ручья T_{pi} и его коэффициент подкатки K_{pi} .

3. Номер элементарной эпюры увеличивают (блок 3) на 1.

4. Проверяют (блок 4), все ли элементарные эпюры просмотрены. Если все эпюры просмотрены ($i - n_{э.э} > 0$), выполняют действия блока 11, в противном случае ($i - n_{э.э} \leq 0$) — блока 5.

5. Если расчетная заготовка элементарная ($n_{э.э}=1$, блок 5), то выполняют действия блока 16, в противном случае ($n_{э.э} \neq 1$) — блока 6.

6. Если (блок 6) радиус элементарной заготовки конического стержня уменьшается при приближении к головке (см. рис. 7.27, м), то выполняют действия блока 10, в противном случае — блока 7.

7. Рассчитывают (блок 7) коэффициент, учитывающий перемещение металла поперек оси внутри i -й элементарной эпюры — $\alpha_{pi} = \max R_{ci} / R_{cpi}$; то же, вдоль оси — $\beta_i = l_{ci} / (2R_{cpi})$ и конусность стержня — $k_{ci} = (\max R_{ci} - \min R_{ci}) / (0,5l_{ci})$, где l_{ci} — длина стержня, и по табл. 7.6 выбирают T_{pi} и K_{pi} для i -й элементарной эпюры.

8. Если (блок 8) $T_{pi}=2$, то выполняют действия блока 9, в противном случае — блока 3. Для рассматриваемой группы поковок обычно не применяют пережимные ($T_{pi}=2$) ручьи, применяют $T_{pi}=3$.

9. После нахождения T_{pi} для всех элементарных эпюр при (блок 4) $i - n_{э.э} > 0$ находят (блок 11) $T_p \max = \max (T_{pi}; \eta_{\max})$, где

$$\eta_{\max} = \max \eta_i; \eta_i = \begin{cases} T_{pi}, & \text{если } T_{pi} < 5; \\ 0, & \text{если } T_{pi} \geq 5; \end{cases} \quad i = 0, 1, \dots, n_{э.э}.$$

10. Если (блок 12) $T_p \max < 5$, выполняют действия блока 19, в противном случае — блока 13.

11. Находят (блок 13) $T_p = \max [(\eta_{\max} + 4); T_p \max]$.

Таким образом, для сложной расчетной заготовки, состоящей из нескольких ($n_{э.э} > 1$) элементарных заготовок, с общим для всех участков R_{cpi} выбирают из всех процессов изготовления каждой элементарной расчетной заготовки наиболее трудоемкий. Например, если для трех участков сложной эпюры требуется по расчету протяжной ($T_{p1}=5$), подкатной открытый ($T_{p2}=3$) и подкатной закрытый ($T_{p3}=4$) ручьи, то $\eta_1=0$, $\eta_2=3$, $\eta_3=4$, $\eta_{\max}=4$; $T_p \max = \max (5, 3, 4, 4) = 5$ и $T_p = \max (8, 5) = 8$, т. е. для расчетной заготовки применяют протяжной и подкатной закрытый ручьи ($T_p=8$).

12. Если (блок 14) для расчетной заготовки выбран любой ручей или комбинации ручьев, кроме протяжного (т. е. $T_p \neq 5$), то выполняют действия блока 20, в противном случае блока 15.

13. Устанавливают (блок 15) $T_p=7$, т. е. если по расчету для всех участков нужен только протяжной ручей, то для фиксации расстояний между головками применяют еще подкатной открытый ручей, затем выполняют действия блока 20.

14. Для расчетной элементарной заготовки заготовительные ручьи определяют (блок 16) по расчету K_p^0 , т. е. $T_p = T_p^0$.

15. Если (блок 17) в расчетной заготовке имеются выступы, при которых $(R_{в}/R_{\min}) > 1,2$ (см. рис. 7.25, а, б), то выполняют действия блока 25, в противном случае — блока 18.

16. Если (блок 18) имеются углубления в головке (см. рис. 7.25, а), то выполняют действия блока 25 — проверяют необходимость для расчетной заготовки только протяжного ($T_p=5$) ручья. При $T_p=5$ выполняют действия блока 26, в противном случае — блока 20.

17. Если расчетная заготовка элементарная (выполняются условия блока 5), то при наличии в расчетной заготовке больших выступов (выполнены условия блока 17) или головки сложной формы (выполнены условия блока 18) кроме протяжного ручья (если он по расчету необходим — выполнено условие блока 25) применяют (блок 26) еще формовочный и подкатной открытый ручьи ($T_p=9$).

18. Для сложной расчетной заготовки при $T_{p\max} < 5$ (блок 12) выбирают (блок 19) наиболее трудоемкий процесс. Например, если для трех участков сложной эпюры по расчету требуется окончательный ($T_{p1}=1$), подкатной открытый ($T_{p2}=3$) и подкатной закрытый ручьи ($T_{p3}=4$), то $\eta_1=1$, $\eta_2=3$, $\eta_3=4$, $\eta_{\max}=4$, $T_{p\max}=\max(1, 3, 4, 4)=4$ и $T_p=4$, т. е. для расчетной заготовки применяют подкатной закрытый ручей.

19. Комбинацию ручьев выбирают (блок 20), исходя из того, чтобы $K_{\Pi}^0 \leq K_{\text{пр}}$, где $K_{\text{пр}} = \prod_{i=0}^{n_{\text{пр}}} K_{\Pi i}$.

20. Если (блок 21) для расчетной заготовки требуется только протяжный ручей ($T_p=5$), то выполняют действия блока 22, в противном случае — блока 27.

21. Если (блок 22) штампуют с клещевиной, то выполняют действия блока 23, в противном случае — блока 27.

22. Если (блок 23). $R_{\text{ср}} > 15$ мм, то выполняют действия блока 24, т. е. применяют еще и подкатной открытый ручей для получения перемычки между поковкой и клещевиной, в противном случае — блока 27.

23. Конец (блок 27).

На рис. 7.29 и 7.30 показаны результаты расчета на ЭВМ эпюр диаметров поковки и заготов-

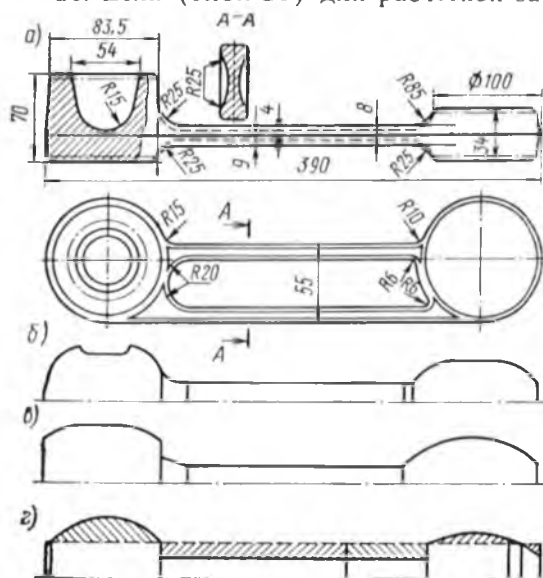


Рис. 7.29. Поковка (а) и спроектированные на ЭВМ эпюры диаметров поковки (б), заготовки (в) и элементарные эпюры (г)

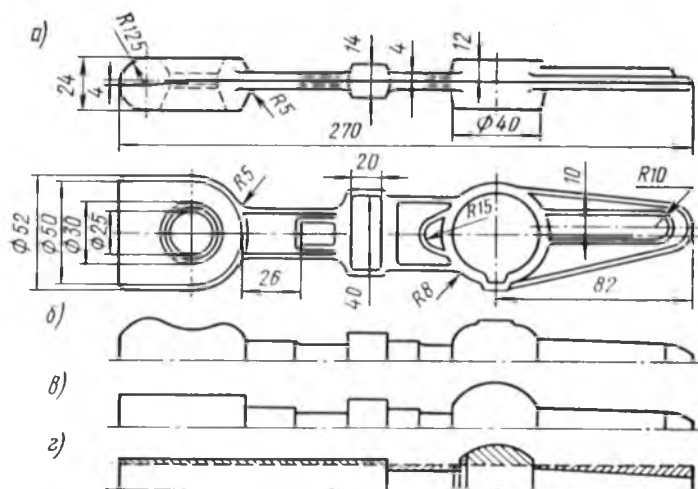


Рис. 7.30. Поковка (а) и спроектированные на ЭВМ эпюры диаметров поковки (б), заготовки (в) и элементарные эпюры (г)

ки и элементарных эпюр. По расчету для изготовления поковки (рис. 7.29) требуются протяжной, формовочный и подкатной открытый ручьи ($T_p=9$), для поковки (рис. 7.30) — протяжной и подкатной открытый ($T_p=8$).

САПР штампов для поковок формы, представленных в виде совокупности стандартных геометрических модулей. В САПР штампов, разработанных в США (Т. Алтан и др.), сечения поковок самых сложных конфигураций рассматривают как соединения из нескольких стандартных элементов (например, Н-, У- и Т-образных) с плоской деформацией, каждый из которых отличается характерным течением металла. Все эти элементы могут быть составлены из типового I-образного профиля (рис. 7.31). При этом расчеты размеров и формы заготовительных переходов, объема детали, поковки и заготовки, силы штамповки и напряжений для заготовительных и окончательных операций становятся систематическими и

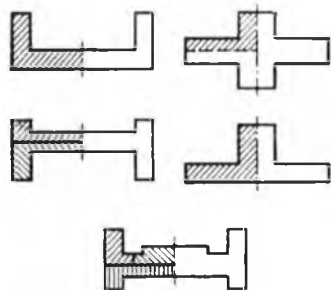


Рис. 7.31. Сложные формы поперечных сечений, составленные из I-образных профилей

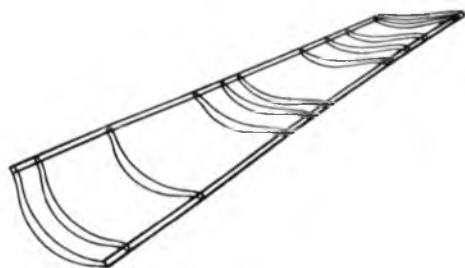


Рис. 7.32. Изометрическое изображение лопатки на экране дисплея

рациональными, что позволяет производить их на ЭВМ. Аналитические решения и подпрограммы для ЭВМ разрабатывают в виде модулей для отдельных L-элементов поковки. После сложения подобно строительным блокам эти модули используют для расчета несимметричных поковок. Разработаны программы, состоящие из подпрограмм для модулей.

Модульный метод повысил эффективность программирования при вычислении напряжений и их распределения и сил, действующих на всю поковку.

ЭВМ применяют и для моделирования процесса штамповки, т. е. для расчета графика зависимости сила — путь. Рассматривают три основные стадии процесса деформирования (осадку, набор металла, доштамповку). Для анализа этих трех стадий штампуемую деталь разделяют на небольшие составные части. Для каждой из этих частей на каждой стадии процесса деформирования рассчитывают силу деформирования, напряжения, положение нейтральной плоскости и течение металла. По графику сила — путь определяют работу деформации, что важно для правильного выбора оборудования и оптимальной технологии.

В разработанной Колумбийской лабораторией им. Бэтла (США) САПР штампов для штамповки турбинных лопаток осуществляют следующие операции:

1) ввод в ЭВМ с перфокарт или магнитной ленты координат контуров поперечных сечений лопатки, найденных с помощью гидродинамических расчетов;

2) проверка вычисленных координат по изображениям в виде сечений или изометрического чертежа лопатки на дисплее (рис. 7.32);

3) определение оптимального положения плоскости разреза штампа, при котором исключаются или резко уменьшаются поперечные силы, смещающие части штампа относительно друг друга при окончательной штамповке в открытом ручье (штампе);

4) определение вертикальных и горизонтальных сил, эпюры напряжений (рис. 7.23), центра давления штампа, необходимой рабо-

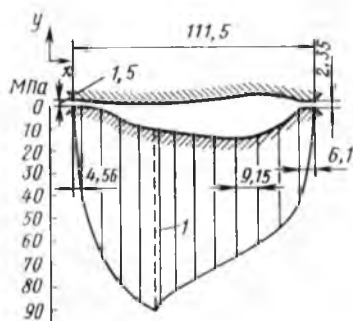


Рис. 7.33. Эпюра напряжений для сечения лопатки; 1 — критическое (нейтральное) сечение



Рис. 7.34. Развертка строк фрезы для изготовления электрода (вычерчено автоматически)

ты деформации и оптимального положения заготовки в полости нижней половины штампа, размеров облоя, гарантирующих минимальную нагрузку на штамп и заполнение его полостей;

5) определение степени искажения формы полости штампа в результате упругой деформации инструмента и внесение изменений в чертеж штампа;

6) разработка программы фрезерования электродов, используемых для электронской обработки рабочих деталей штампа лопатки (рис. 7.34).

Расчеты выполняют с учетом температурной усадки поковок в результате их остывания. Упругую деформацию рассчитывают, разделяя инструмент на отдельные элементы. Результаты расчета используют при проектировании электродов.

Проектирование штампов на ЭВМ включает следующие операции:

1) кодирование геометрической информации, заданной на чертеже готовой детали, в цифровые данные, для чего используют известный специализированный язык АРТ (Automate Programme Tool).

В качестве примера применения языка АРТ на рис. 7.35 сечение плоскостью N ($SECPLN$) описывается ключевыми точками P , плоскостями PL и типовыми геометрическими поверхностями, например CON , обозначенными номерами и снабженными дополнительной информацией (координатами точек, параметрами образующих и т. д.);

2) определение с помощью про-

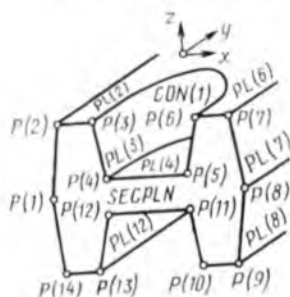


Рис. 7.35. Применение языка АРТ для описания геометрии поковки

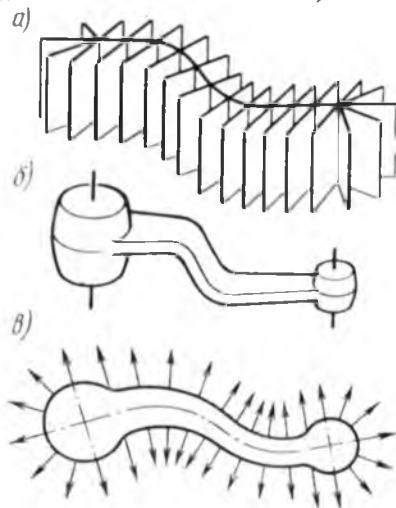


Рис. 7.36. Плоскости (а) и направления течения (в) металла при объемной штамповке поковки (б)

грамм, написанных на языке АРТ, координат, описывающих различные поперечные сечения поковок; их получают при пересечении поверхностей: плоскостей, конусов, цилиндров и т. д.

3) конструирование с помощью программ на языке ФОРТРАН окончательного ручья штампа (выходные данные п. 2 являются входными данными системы конструирования), при этом рассчитывают: напряжения и силы в каждом сечении, вначале без облоя; по-

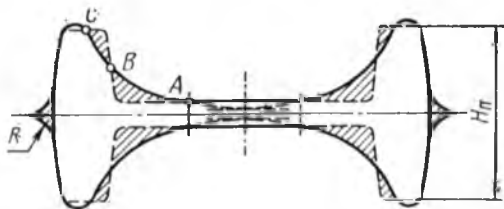


Рис. 7.37. Пример определения формы сечения промежуточного ручья (—) по форме окончательного ручья (- - -)

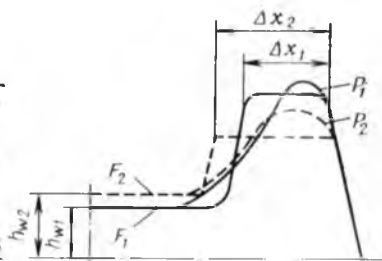


Рис. 7.38. Определение промежуточной формы для L-образного элемента поковки

ложение нейтральной поверхности (под нейтральной поверхностью понимая поверхность, связывающую средние линии плоскостей течения, т. е. нейтральная поверхность может быть представлена как поверхность, по которой металл перемещается параллельно направлению движения штампа); критерий сложности формы сечений поковки S_{π} (2.1) с учетом расположения нейтральной поверхности; площади сечений и объем поковки; размеры облойного мостика с учетом критерия сложности формы поковки; напряжения и силы в облое; напряжения, силы и координаты центра давления;

4) составление программы обработки резанием на станке с ЧПУ графитовых электродов для электрон스크ового станка, на котором изготавливают окончательный ручей;

5) проектирование предварительных ручьев и расчет для них напряжений, сил и координат центра давления;

6) составление программы обработки резанием на станке с ЧПУ электродов электронскрового станка, на котором изготавливают предварительные ручьи.

Такой шестиступенчатый процесс модульного проектирования штампов экономичен и прост в использовании.

Для выбора профиля промежуточного ручья штампа надо исследовать течение металла в различных поперечных сечениях поковки или плоскости течения в поковке окончательной формы. На рис. 7.36 приведены плоскости (рис. 7.36, а) и направления течения (рис. 7.36, в) металла при объемной штамповке поковки (рис. 7.36, б).

Пример определения профиля сечения предварительно отштампованной заготовки (и соответствующего профиля ручья), из которой получают поковку H-образного сечения при штамповке в окончательном ручье, показан на рис. 7.37. Объем заготовки складывается из объемов поковки, облоя и металла окалины. Участок контура ABC построен в виде логарифмической кривой, по мнению американских специалистов (Т. Алтан и др.), наиболее точно отвечающей действительному направлению течения металла при штамповке в предварительном ручье.

Проектирование предварительных ручьев — скорее искусство, чем наука. Результаты его, как правило, зависят от интуиции кон-

структора и его опыта, так как очень мало четких рекомендаций по количественному определению размеров черногового ручья, таких, например, как толщины ребер и полок, радиусов закруглений и ширины ручья. Для использования ЭВМ в разработке предварительных ручьев необходим объективный инженерный метод — диалог ЭВМ — человек.

На рис. 7.38 окончательно оформленный профиль сечения поковки обозначен через F_1 , а промежуточный профиль — через P_1 . Толщина основания обоих сечений h_{w1} . Внутренние поверхности полок профиля построены в виде логарифмической кривой. По рассчитанным на ЭВМ размерам сечения и дополнительным сведениям о материале поковки, условиях ее изготовления и применяемом оборудовании получают профиль сечения предварительно штампованной заготовки, обозначенный через F_2 с толщиной основания h_{w2} и промежуточной формой P_2 . Площади сечений с профилями F_1 и F_2 равны, толщина $h_{w2} = \omega/h_{w1}$, ширина полки $\Delta x_2 = R\Delta x_1$ (ω и R — коэффициенты). Варьируя этими коэффициентами, можно получить желаемую форму сечений у предварительно отштампованной заготовки. Изменяя ω и R , конструктор штампов может выбрать наилучший по его мнению вариант сечений при анализе их формы. Изображения этих сечений он видит на экране дисплея. На экране дисплея конструктор видит также изображение спроектированного штампа в изометрии (рис. 7.39).

Имеется (США) опыт применения ЭВМ для исследования течения металла, скорости, энергии и сил деформации при обработке бойками с простым и сложным углом выреза. С помощью ЭВМ рассчитывают изменение температуры металла в разных частях за-

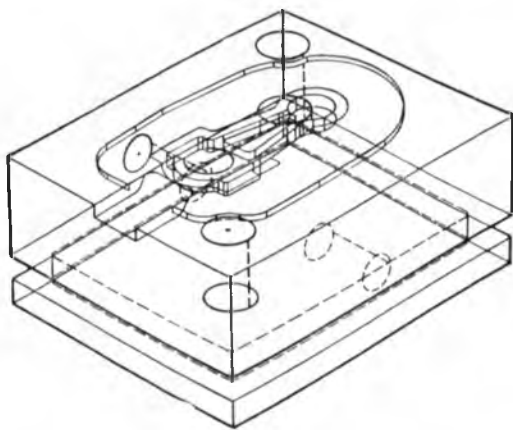


Рис. 7.39. Спроектированный штамп в изометрии на экране дисплея

готовки, передачу теплоты при деформировании и выбирают оптимальный вариант технологии. Система программ FORGE при вводе цифрового описания профиля и некоторых других данных рассчитывает распределение напряжений, силу деформации и среднее давление на штамп, объем и площадь гравюры штампа, размеры облойной канавки, что используется в качестве исходных данных для проектирования процессов обработки резанием на станках с ЧПУ. Далее система программ FORGE проектирует предварительные ручки штампов. Результаты проектирования, представленные в виде графиков, построенных в прямоугольных координатах и описывающих профиль сечений гравюр штампов, являются входными дан-

ными для системы программ DIESURE, рассчитывающей параметры технологического процесса обработки резанием гравюры штампов. Так, например, проектируются штампы для траков гусеничных машин. Особенностью системы проектирования предварительных ручьев штампов является возможность совмещения и наложения на экране изображений предварительных и окончательных ручьев.

На ЭВМ исследуют также процессы проектирования и изготовления инструмента для выдавливания алюминиевых, титановых и стальных профилей. На основании теоретического анализа процесса определяют оптимальную форму матриц и получают параметры процесса. С помощью ЭВМ определяют оптимальную длину и форму матриц, применяемых при выдавливании со смазкой, рассчитывают силы деформации и среднее давление на матрицу, степень обжатия, периметр выдавливаемого профиля, напряжение текучести и др., получают данные для программирования обработки матриц на станках для электронной обработки с ЧПУ.

Автоматизация подготовки программ для изготовления штампов на оборудование с ЧПУ. Ручьи для поковок сложной формы обычно изготавливают электроэрозионным способом, при этом форма обрабатываемой поверхности электрода соответствует форме ручья штампа. Electroды изготавливают на оборудовании с программным управлением. Управляющую программу получают на ЭВМ с помощью той же самой системы программ проектирования, которую применяют при описании кодирования сведений детали и геометрических расчетах. Подготовка управляющих программ вручную — очень трудоемкая работа.

Система нового типа — это сочетание проектирования и изготовления с помощью ЭВМ (соответственно CAD — Computer-Aided Design и CAM — Computer-Aided Manufacturing). В этой системе чертеж поковки автоматически преобразуется в чертежи промежуточных предварительных ручьев и окончательного ручья штампа. К тому же система выдает все управляющие перфоленты для обо-

рудования с ЧПУ, необходимые для изготовления гравюры окончательных и предварительных ручьев штампа. Для реализации системы использован эффективный и экономичный способ описания геометрии трехмерной детали на языке АРТ.

На рис. 7.40 показана поковка из титанового сплава, отштампованная в штампе, спроектированном и изготовленном по методу CAD/CAM.

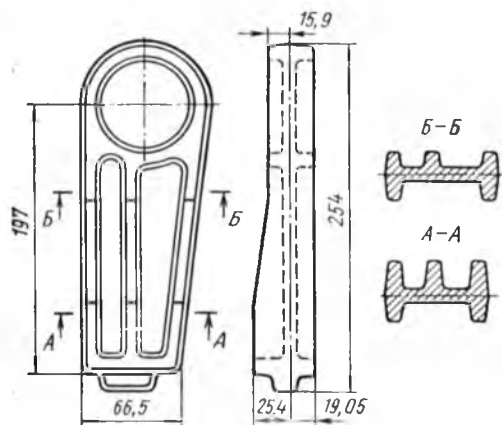


Рис. 7.40. Чертеж поковки из титанового сплава

Отштампованные на гид-

равлическом и кривошипном прессе поковки были годными. Наблюдалось хорошее заполнение полостей штампа. Фактическая сила гидравлического пресса 1930 тс, а расчетная — 1820 тс. При штамповке на кривошипном прессе ширина облойного мостика была уменьшена с 15 до 10 мм. Сила штамповки на кривошипном прессе составляла 1490 тс и на 8 % была выше расчетной силы, равной 1390 тс.

5. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

САПР вырубных штампов холодной листовой штамповки, разработанная в Институте технической кибернетики АН БССР под руководством А. Г. Гривачевского *, представлена на рис. 7.41.

Для холодной листовой штамповки характерно применение сборных штампов для получения различных по форме деталей одного класса. Выбор объекта проектирования предусматривает комплектование базового набора типовых конструкций штампов, типовых и стандартных конструкций узлов и деталей штампа, установление граничных условий по классу штампуемых деталей, по типоразмерам применяемого штамповочного оборудования.

Базовый набор типовых конструкций штампов комплектуется с учетом частоты их использования, а также результатов анализа затрат на автоматизацию процесса их конструирования, перспектив развития предприятия или отрасли, где предполагается внедрение САПР. Каждой детали из базового набора ставится в соответствие фиксированный набор вариантов ее конструктивного исполнения.

Конструкции деталей из базового набора делятся на стандартные и типовые. Для стандартных деталей (упоры, хвостовики, крепежные детали и т. д.) строго регламентированы такие характеристики, как геометрическая форма,



Рис. 7.41. Схема автоматизированного проектирования вырубных штампов

* Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении / Под ред. О. И. Семенкова. Минск, 1977, т. 2.

размеры, точность, шероховатость поверхности, технические условия на изготовление. Конструкции типовых деталей в общем случае состоят из *элементов* (отверстий, выступов, пазов и др.) трех типов: *стандартных, унифицированных и оригинальных*. Для стандартных элементов характерно постоянство форм и размеров, для унифицированных — постоянство формы, размеры же могут быть произвольными. Геометрическая форма и размеры оригинальных элементов в каждом конкретном случае проектирования зависят от формы и размеров штампуемой детали (например, рабочей контур вырубной матрицы).

Информационная база САПР. Вся перерабатываемая информация представляется в памяти ЭВМ в виде множества числовых массивов и составляет информационную базу САПР. Массивы информационной базы делятся на исходные и выходные.

И с х о д н ы е информационные массивы подразделяются на оперативные и базовые. *Оперативные* исходные информационные массивы состоят из сведений о штампуемой детали, отдельных данных общего и технологического характера (номер детали, штампа, параметры раскроя заготовки и т. д.), а также пожеланий проектировщика по конструкции некоторых деталей и узлов штампа. Эти массивы составляют при подготовке задания на проектирование штампа.

Базовые (справочные и ограничительные) исходные информационные массивы содержат сведения о среде, в которой функционирует система, — составляются при разработке САПР и подготовке к использованию ее на предприятии.

Справочные информационные массивы содержат характеристики базового набора типовых конструкций проектируемых штампов — типоразмеры блоков и пакетов, типоразмеры и применяемость стандартных деталей, данные по нестандартным деталям, а также справочные данные по методике конструирования, сведения о прессовом оборудовании и т. д. В частности, сюда входят: габаритные и наибольшие (допустимые) размеры рабочего контура прямоугольных матриц; ряд размеров и номера заготовок деталей пакета типовых конструкций штампов; размеры и расстановка крепежа; характеристики используемых винтов и штифтов; типы и размеры траверс и их обозначение; размеры и обозначение резьбовых, крючковых, утопающих и грибковых упоров; стандартные размеры хвостовиков; размеры необходимого подштампового пространства; допускаемые отклонения свободных и исполнительных размеров; посадки; коды материалов для изготовления деталей штампов и др.

Ограничительные информационные массивы накладывают ограничения на справочные информационные массивы и заложенную в САПР методику конструирования. Ограничительные информационные массивы составляют следующие данные: таблица применимости типовых конструкций штампов и типоразмеров пакетов в типовых конструкциях штампов; экстремальные диаметры траверс для каждого пакета; указание о запрещении применения отдельных конструкций пуансонов; указание о полном или частичном вычер-

чивании рабочих чертежей деталей штампа на подготовленных заранее бланках; допустимый коэффициент смещения центра давления штампа и т. д.

На выбранные базовые конструкции штампов для определенного класса обрабатываемых на них деталей устанавливаются ограничения по геометрической форме, габаритным размерам, типу заготовок, толщине листа и маркам используемых материалов, точности; по количеству элементов, образующих контур детали, отверстий в них, количеству размеров, стоящих на чертеже детали.

Все исходные сведения преобразуются оператором в цифровую форму, переносятся на бланки и затем перфорируются. В ЭВМ вводятся комплекс программ и перфоленга с исходными данными. В результате реализации программ конструирования в массивах информации накапливаются данные о спецификации деталей штампа и их характеристиках, определяющих для каждой из деталей вариант типовой конструкции, размеры, материал и другие данные.

Привязка системы к конкретным условиям производства осуществляется путем внесения соответствующих изменений в базовые информационные массивы, которые вводятся в память ЭВМ один раз при записи программы.

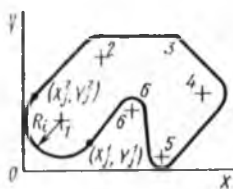
Выходные информационные массивы содержат данные о спроектированном штампе и делятся на три группы: спецификационный массив; массивы данных о стандартных и унифицированных элементах деталей; массивы данных о специальных или фасонных (оригинальных) элементах деталей штампа.

В спецификационном массиве приводится список деталей с указанием их характеристик.

Каждой детали штампа соответствует один массив данных о стандартных и унифицированных элементах детали (посадочные и переходные участки пуансонов, буртик выталкивателя, отверстие под упор и т. п.), который в общем случае содержит: код детали штампа; координаты привязки частной системы координат детали к главной системе координат штампа; координаты привязки в частной системе координат детали и типоразмер стандартных элементов; координаты привязки в частной системе координат детали и параметры унифицированных элементов.

Массивы данных о специальных или фасонных элементах деталей штампа (рабочих контурах пуансонов, матриц, съемников и выталкивателей) обозначаются ТКС2, ВРК, RRM, RRP, MRK и VMR.

В массиве ТКС2 приводятся параметры элементов, или опорных точек (дуг окружностей), контуров штампуемой детали (соответствующей контуру вырубного пуансона) в главной системе координат штампа. При этом для каждой опорной точки указываются (рис. 7.42): номер опорной точки (обход контура по часовой стрелке); код типа опорной точки; номер контура, которому принадлежит данная опорная точка; координаты центра опорной точки (дуги окружности); радиус дуги окружности со знаком, указывающим ориентацию дуги: против (+) или по (—) часовой стрелке; координаты начала и конца дуги окружности.



Номер элемента	1	2	3	4	5	6
Тип элемента	2	2	2	2	2	2
Номер контура	1	1	1	1	1	1
X_i	11	21	40,5	46,2	35,8	29,3
Y_i	13	28	33	18	3	14,3
R_i	-11	5,5	0	6,5	-3	3,5
X_i'	18,3	17,5	40,5	50,5	37,8	33
Y_i'	5,5	32	33	22	1	14
X_i''	4,2	22	40,5	50,5	33	28,5
Y_i''	21	31,5	33	13,5	2,2	16,3

Рис. 7.42. Параметры опорных точек контура штампуемой детали

Массив ВРК содержит данные о привязке контуров штампуемой детали в главной системе координат штампа. Для одного контура они сведены в один столбец массива и включают: номера двух привязочных опорных точек контура; код типа привязки (зависит от типа привязочных опорных точек); координаты привязочных опорных точек в главной системе координат штампа.

По данным из массива ВРК — координатам привязки частной системы координат детали в главной системе штампа — путем аффинных преобразований на плоскости рассчитывают параметры привязки соответствующих фасонных элементов в ее частной системе координат.

В массивах RRM и RRP содержатся номинальные размеры и допускаемые отклонения размеров рабочих контуров основных деталей штампа. Размеры охватывающих деталей (матрица, внутренние контуры пуансон-матрицы) приведены в массиве RRM, охватываемых (пуансоны, наружный контур пуансон-матрицы) — в массиве RRP.

Для указания применяемости размеров фасонных элементов деталей штампа служит массив соответствий MRK. Кроме того, в массиве MRK фиксируется способ расчета размера, т. е. указывается, из какого массива (RRM или RRP) необходимо выбирать номинальный размер и его допускаемые отклонения при построении чертежей деталей штампа. Каждая строка массива MRK соответствует одной из деталей штампа, в которой может присутствовать фасонный элемент: матрице, пуансону, пуансон-матрице, съемнику или выталкивателю. Наличие 0 в n -м столбце соответствующей строки говорит о ненадобности n -го размера для данной детали. Напротив, наличие +1 или -1 свидетельствует о применяемости размера, причем в случае +1 номинальный размер и его допускаемые отклонения следует выбирать из массива RRM, а в случае -1 — из массива RRP.

Массив VMR содержит параметры нанесения размерной сетки на чертеж штампуемой детали. Для каждого размера указываются: код типа размера; координаты начала, конца и центра (в случае дуги) выносных и размерных линий и полук для написания размерного числа; координаты и угол простановки стрелок и написания размерного числа; код типа надписи (R , $\varnothing$, 2 отв. $\varnothing$ и т. п.).

Задание на автоматизированное проектирование штампа состоит из данных о геометрии и размерах штампуемой детали, принятой схемы раскроя полосы или ленты и данных общего и техно-

Таблица 7.7. Исходные данные ТКСА и ТКCR

Задание на автоматизированное проектирование штампа							
Начальный адрес		ТКСА — общие сведения					
0120							
Номер			Материал	Толщина	Сопротивление срезу	Тип штампа	Число рядов
штампа	детали						
3584	8668379	00190001	1	2	352	1	1
Ширина полосы	Шаг штамповки	0	Сдвиг рядов	0	Упор I	Упор II	Способ изготовления
212	42,5	0	0	0	—5	0	0
A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4
0	0	0	0	0	0	0	0
Масштаб раскрыя	S1	S2	S3	Нарез	R _{max}	0	0
1	3	2,5	0	0	10	0	0
N1	N2	N3	N4	N5	G	0	0
0	0	0	0	0	—10	0	0
Начальный адрес		ТКСR — размеры и допуски					
3050							
Номер размера	Номинальный размер	Отклонение		Номер размера	Номинальный размер	Отклонение	
		верхнее	нижнее			верхнее	нижнее
1	206	0	0	6	66	0,5	—0,5
2	109	0	0	7	103	0,4	—0,4
3	2,5	0	0	8	6	0,5	—0,5
4	40	0	0	9	4,8	0	0
5	7	0,5	—0,5	10	20	0,5	—0,5
Составил			Штамп	3584		Лист : 1	Задание
Проверил			Деталь	БТ 8.668.379		Листов : 2	№ 1

Т а б л и ц а 7.8. Исходные данные ТКCV и ТКCD

Задание на автоматизированное проектирование

Начальный адрес			TKCV — сведения геометрического характера								
2000											
Номер элемента	Код		Тип элемента	Диаметр, радиус	База 1	Вид связи	Номер раз-мера	База 2	Вид связи	Номер раз-мера	Признак
	элемента	контура									
1	101	1	1	0	4	20	2	0	0	0	0
2	102	1	1	0	2	20	3	0	0	0	0
3	4	1	2	0	101	20	1	102	20	0	0
4	5	1	2	0	101	20	1	102	20	4	0
5	6	1	2	0	101	20	0	102	20	4	0
6	7	1	2	0	101	20	0	102	20	0	0
7	103	1	1	0	101	20	1	0	0	0	0
8	8	2	2	9	103	40	5	102	40	10	0
9	9	3	2	9	102	40	10	8	10	6	3
10	10	4	2	9	102	40	10	9	10	7	3
11	11	5	2	9	102	40	10	101	40	8	0

Начальный адрес

0400

TKCD — сведения о размерной сетке

Номер			Вид связи	Сдвиг размерной линии, мм	Привязка размерного числа, выносной линии, полки, град, мм	Дополнительная ориентация размерной линии		Сведения о выносной линии		Длина полки, мм	Коды надписи	
размера	1-го элемента	2-го элемента				Номер базового элемента	угла, град	угла, град	длина, мм		тип	количество
1	4	7	10	15	80	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
4	4	5	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0
5	103	8	40	30	20	0	0	0	0	0	0	0
6	8	9	10	30	20	0	0	0	0	0	0	0
7	9	10	10	30	30	0	0	0	0	0	0	0
8	11	101	50	30	10	0	0	0	0	0	0	0
9	9	9	20	0	55	101	45	0	0	30	3	4
10	102	8	40	17	5	0	0	0	0	0	0	0
Составил					Штамп	3584		Лист: 2		Задание		
Проверил					Деталь	БТ 8.668.379		Листов: 2		№ 1		

гического характера. Для ввода в ЭВМ их кодируют и представляют на бланках ТКС (разделы А, R, V, D) в виде цифровых массивов ТКСА, ТКCR, ТКCV, ТКCD (табл. 7.7 и 7.8). Принятая система кодирования позволяет описать плоский контур произвольной конфигурации без каких-либо пересечений размерных цепочек.

Процесс подготовки задания делится на несколько этапов: подготовка чертежа детали к кодированию; кодирование сведений общего и технологического характера; кодирование размеров; кодирование геометрической формы детали; кодирование данных о положении размеров на поле чертежа (производится только в том случае, если необходимо подготовить данные для автоматического вычерчивания чертежей штампов).

Подготовка чертежа к кодированию сводится к следующему. Вычерчивают в масштабе схему раскроя полосы. Направление подачи материала принято во всех случаях единым — справа налево. Через начало полосы и ее нижнюю сторону проводят координатные оси, которым присваивают номера 1 и 2 (рис. 7.43). Они являются базами для привязки наружного контура детали.

Наружный, получаемый вырубкой, и внутренние, получаемые пробивкой, контуры детали нумеруют: $K1, K2, K3, \dots$. Сначала присваивают номер наружному контуру, а затем в произвольном порядке всем внутренним. Последовательно обходя все контуры, нумеруют составляющие их элементы так, чтобы тело детали осталось слева. Нумерация начинается с цифры 4 (номера 1, 2, 3 использованы для кодирования координатных осей).

В произвольном порядке нумеруют все, кроме справочных, размеры детали, включая размеры, привязывающие ее наружный контур к базам 1 и 2.

Сведения общего и технологического характера заносят в ТКСА задания на автоматизированное проектирование штампа.

В этом разделе указывают номер штампа и детали, код материала и толщину листа, сопротивление срезу (в МПа), код типа штампа, число рядов штамповки, ширину полосы и шаг штамповки (в мм). Далее идет пустая графа, сдвиг рядов при многорядной штамповке, затем снова следует пустая графа.

В графы «Упор I» и «Упор II» записывают номера элементов контура детали, на которые делается упор по шагу; в графу «Спо-

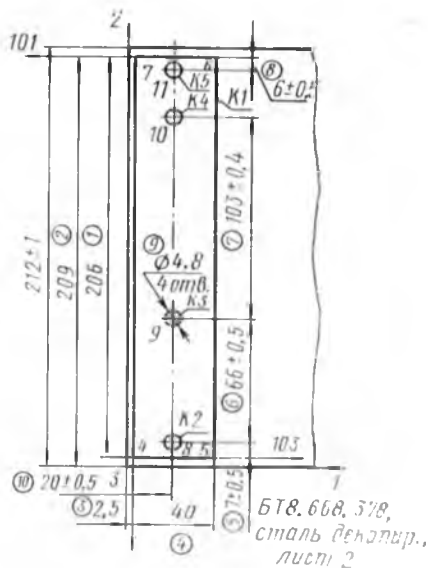


Рис. 7.43. Чертеж раскроя

соб изготовления» заносят код способа изготовления матрицы, который равен единице при изготовлении матрицы по оттиску пуансона и нулю в остальных случаях.

В графы $A1, B1, \dots, A4, B4$ записывают информацию о положении линий отрезки в секционной матрице. Если матрица проектируемого штампа имеет цельную конструкцию, то в этих графах проставляются нули. Каждая пара значений A_i, B_i в этих графах описывает положение одной линии отрезки.

В графу «Масштаб раскроя» заносят код масштаба, в котором выполнен чертеж детали. В этом же масштабе будут изготовлены (автоматически) чертежи рабочих контуров деталей штампа, в графы « $S1$ », « $S2$ », « $S3$ » записывают размеры перемычек (соответственно боковой и между деталями), а также размер кромки, срезаемой шаговым ножом (в мм).

В графу «Нагрев» заносят 1 при штамповке с подогревом материала и 0 в противном случае; в графу « $R_{\max}$ » — максимальное число размеров, стоящих на чертеже детали.

В графы « $N1$ », « $N2$ », ..., « $N5$ » записывают информацию, отражающую специальные пожелания относительно конструкции отдельных деталей штампа; в графе « G » может быть указан код типоразмера пакета штампа, если кодировщик считает необходимым выбор именно этого типоразмера.

Кодирование размеров и геометрической формы детали проводится на бланках ТКCR, TKCV и TKCD.

Бланк ТКCR заполняют данными, полученными при подготовке чертежа детали к кодированию, указывают номер размера, его номинальное значение и допускаемые отклонения.

Наиболее трудоемким и ответственным этапом является кодирование геометрической формы детали (бланк TKCV). Система кодирования характеризуется следующими основными положениями: контур детали рассматривается как упорядоченная совокупность взаимосвязанных элементов (точек, дуг окружностей, прямых линий); для каждой линии чертежа указывается направление; описание элементов при кодировании производится вдоль размерной цепочки, благодаря чему удается избежать каких-либо пересчетов размеров и допускаемых отклонений; используется понятие «натягивание контура» (контур представляется в виде нити, натянутой на окружности радиусами R_j , в том числе $R_j = 0$, в каждой точке j -го контура), что дает возможность значительно сократить число данных, вносимых в таблицу; учитываются свойства симметричных и конгруэнтных (одинаковых по форме и размерам) контуров, благодаря чему значительно упрощается процесс кодирования.

Элемент, являющийся размерной базой при построении другого (строящегося) элемента, называют базовым. Расстоянию между базовым и строящимся элементами присваивается знак «+» («—»), если строящийся элемент расположен слева (справа) от базового (смотреть по направлению обхода базового элемента).

Варианты размерной связи между элементами контура кодируют так: размер между центрами окружностей — код 10; линей-

ный размер или диаметр — 20; угловой размер — 30; размер от базы до центра — 40; размер от базы до линии — 50.

При кодировании такие элементы чертежа, как выносные линии, оси симметрии, вспомогательные точки, используемые при геометрических построениях, обозначают кодами 101, 102, 103 и т. д.

Сведения о каждом из кодируемых элементов занимают одну строку (см. табл. 7.8).

На бланке ТКCV три зоны: первая содержит общие сведения о строящемся элементе: номер элемента по порядку, его код и код контура, которому принадлежит элемент, код типа элемента (точки — 3, дуги окружности — 2, прямой линии — 1), код, присвоенный диаметру или радиусу элемента. Далее расположены две однотипные зоны, в каждой из которых записывают код базового элемента, код вида размерной связи, номер размера, стоящего между базовым и строящимся элементами.

В том случае, когда в совокупности «кодируемый элемент, первая база, вторая база» содержится меньше двух прямых, в последнем столбце записывают код признака неоднозначности кодирования. Признаку неоднозначности присваивается значение +3 (—3), если центр строящегося элемента лежит слева (справа) от линии, которая направлена от базы 1 к базе 2. Принято, что центром направленной прямой является точка, лежащая слева от нее на бесконечно удаленном расстоянии.

При кодировании данных о положении размеров на поле чертежа каждой размерной линии присваивают условное направление, которое совпадает с направлением написания на ней размерного числа. В случае использования полки для простановки размерного числа направление размерной линии выбирается произвольно.

Используемые при кодировании положения размеров понятия «размерная связь», «базовые элементы» и другие аналогичны понятиям, используемым в системе кодирования геометрической формы детали.

Данные о положении размеров на чертеже заносят в бланк ТКCD задания (см. табл. 7.8). Каждая строка этой таблицы содержит информацию о положении одного из размеров детали. Кодирование производится в порядке возрастания их номеров.

В первых двух столбцах таблицы указывают номера элементов контура детали, которые связаны кодируемым размером. Номера элементов записывают в такой последовательности, чтобы направление от первого элемента ко второму совпадало с направлением размерной линии.

В следующем столбце указывается код вида размерной связи, значение которого зависит от способа простановки кодируемого размера по отношению к связываемым им элементам и аналогично коду размерной связи, используемому при кодировании геометрической формы детали.

Далее в двух столбцах записываются данные, характеризующие удаление размерной линии от центра одного из элементов контура и расположение размерного числа, выноски или полки.

В столбце «Сдвиг размерной линии» для линейных размеров проставляется расстояние от размерной линии до центра одного из элементов, для угловых размеров — радиус дуги размерной линии. «Сдвиг размерной линии» имеет знак «+» («—») для линейных размеров, если центр элемента, относительно которого определяется сдвиг, лежит слева (справа) от размерной линии, и для угловых размеров — «+» («—»), если направление дуги размерной линии обозначено против (по) часовой стрелки.

В столбце «Привязка размерного числа, выносной линии, полки» указывают расстояние от начала размерной линии до начала написания размерного числа, начала выносной линии или полки. Расстояние указывается со знаком «+» («—»), если направление отсчета ее совпадает (не совпадает) с направлением размерной линии. Дополнительные сведения о положении размерной линии при кодировании радиуса или диаметра записывают в двух столбцах «Дополнительная ориентация размерной линии».

В столбце «Номер базового элемента» помещают номер направленной (вспомогательной) прямой, относительно которой ориентируется размерная линия, со знаком «+», если используется направление этой прямой, заданное на чертеже, и знаком «—», если используется направление прямой, противоположное заданному.

В столбце «Угол» записывают значение угла между направленной прямой, указанной в столбце «Номер базового элемента», и размерной линией радиуса или диаметра со знаком «—» («+»), если направление отсчета совпадает (не совпадает) с движением часовой стрелки. Отсчет угла производят от базовой прямой.

В двух следующих столбцах указываются длина и ориентация выносной линии относительно размерной для линейных размеров и относительно базы *I* чертежа раскроя детали для угловых размеров. Начало выносной линии всегда лежит на размерной и определяется привязкой. Направление выбирается от начала выносной линии в сторону полки. Ориентация однозначно определяется углом между выносной и размерной линиями или между выносной линией и базой *I*. Положительный отсчет производится против часовой стрелки, отрицательный — по часовой.

Далее записывают длину полки. Полка всегда вычерчивается горизонтально. Начало полки лежит либо на выносной линии, либо (при ее отсутствии) на размерной и определяется привязкой. Полка, вычерчиваемая слева направо, имеет положительную длину и записывается со знаком «+», в противном случае — со знаком «—».

В два столбца «Коды надписи» заносят сведения о надписях, допускаемых по ЕСКД. В столбце «Тип» указывают следующие коды типа надписи: радиус R — 1; диаметр $\varnothing$ — 2; n отв. $\varnothing$ — 3; длина дуги $\frown$ — 4; звездочка $*$ — 5; размер между крайними из равномерно расположенных элементов (отверстий, пазов и т. п.) с шагом A — $n \times A = p$ — 6.

В столбце «Количество» указывается n — число отверстий, шагов, пазов и т. п.

Предусмотрена возможность кодирования размеров, симметрич-

ных относительно оси. Номер элемента, являющегося осью симметрии, заносится в столбец «Номер базового элемента», а код вида связи увеличивается на единицу (11, 21, 31, 41, 51).

После составления задания и визуальной проверки таблиц кодировочных сведений данные из них переносят на перфоленту. При наличии чертежного автомата правильность кодирования проверяют, вычертив исходный чертеж.

Форма и состав выходной документации. В системе предусмотрено два варианта получения рабочих чертежей штампов: ручное дочерчивание бланк-чертежей по полученным на ЭВМ данным и автоматическое вычерчивание на графопостроителе. В случае использования бланк-чертежей результаты проектирования выдаются в виде буквенно-цифровых табуляграмм. При автоматическом вычерчивании выходной перфоратор ЭВМ выдает перфоленту, которая управляет работой графопостроителя при изготовлении комплекта чертежей спроектированного штампа.

Сохраняющиеся в памяти ЭВМ после отработки программы вычерчивания или расчертки табуляграмм цифровое описание спроектированного штампа пригодно для использования в программах проектирования технологии изготовления деталей штампа и подготовки программ для изготовления отдельных из них на станках с ЧПУ.

Выходные табуляграммы печатаются на АЦПУ и состоят из двух разделов: спецификации и сведений о деталях и общем виде штампа. Они включают в себя выходные информационные массивы, о которых сказано выше.

Спецификация печатается в виде готового для использования документа по нормам ЕСКД. В разделе «Документация» указываются обозначение и форматы сборочного чертежа и эскиза штампуемой детали. Детали штампа, для изготовления которых необходимы рабочие чертежи, сведены в раздел «Детали». Для них указываются формат чертежа, номер позиции, обозначение чертежа, наименование, типоразмер стандартной заготовки (если она имеется) и количество деталей данного наименования в штампе. Стандартные детали сведены в раздел «Стандартные изделия».

Сведения об общем виде штампа используются для доработки соответствующего бланк-чертежа. Они содержат общую характеристику штампа: типоразмер, силу вырезки, номер штампуемой детали, номер штампа и т. п.

Сведения о рабочих чертежах деталей штампа включают по каждой детали: наименование детали и код бланк-чертежа; сведения спецификационного характера (номер позиции, количество деталей данного наименования в штампе, материал, номер штампа); типоразмер и габаритные размеры заготовки детали (для деталей пакета штампа, изготавливаемых из стандартных заготовок); тип, размеры и координаты привязки унифицированных элементов деталей (посадочные участки пуансонов и пуансонодержателей, отверстия и выборки под упоры и др.); размеры фасонных элементов деталей штампа, повторяющих контур штампуемой детали (рабочие участ-

ки пуансона, матрицы, съёмника и др.); примечания, касающиеся характера термообработки, способа изготовления детали, и пр.

В табл. 7. 10 приведены примеры табуляграмм с данными о матрице и пуансоне.

Таблица 7.10. Пример печати сведений о деталях спроектированного штампа

МАТРИЦА СЗ

ДЕТ: 7 КОЛ: 1 МАТЕРИАЛ: СТАЛЬ У10А ШТАМП 1740—1523
ЗАГОТОВКА 1025—0660 А=100 В=80 Н=20

ОКНО ИОД ВЫТАЛКИВАТЕЛЬ: КРУГЛОЕ Д5=43 НR=10

ЦЕНТР ОКНА: X=0,0 Y=0,0

ПРИВЯЗКА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

ЦЕНТР ЭЛЕМЕНТА: 4 X=0,00 Y=0,00

РАЗМЕРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

№ РАЗМЕРА:	ИНСТРУМЕНТ:	№ КОНТУРА:	ШТАМПУЕМАЯ ДЕТАЛЬ
4	35,570+0,027	1	36,000—0,17—0,500

ПУАНСОН С44

ДЕТ: 12 КОЛ: 1 МАТЕРИАЛ: СТАЛЬ У10А ШТАМП 1740—1523

L=36 L4=1

ПРИВЯЗКА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

ЦЕНТР ЭЛЕМЕНТА: 5X=—27,00 Y=—27,00

РАЗМЕРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

№ РАЗМЕРА:	ИНСТРУМЕНТ:	№ КОНТУРА:	ШТАМПУЕМАЯ ДЕТАЛЬ
6	27,220—0,014	2	27,000+0,280

ПУАНСОН С44

ДЕТ: 13 КОЛ: 1 МАТЕРИАЛ: СТАЛЬ У10А ШТАМП 1740—1523

L=36 L4=1

ПРИВЯЗКА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

ЦЕНТР ЭЛЕМЕНТА: 6X=—3,00 Y=12,75

РАЗМЕРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

№ РАЗМЕРА:	ИНСТРУМЕНТ:	№ КОНТУРА:	ШТАМПУЕМАЯ ДЕТАЛЬ
6	3,200—0,006	3	3,000

Комплект бланк-чертежей содержит чертежи общих видов и рабочие чертежи деталей штампов.

На бланк-чертеже общего вида изображают разрез штампа и план низа. Изображения выполняют без соблюдения масштаба; для каждой типовой конструкции штампа предусмотрены только два бланк-чертежа — с продольным и поперечным расположением пакета.

Для каждой типовой конструкции детали штампа разработан отдельный бланк-чертеж, на котором: вычерчены стандартные элементы детали без соблюдения масштаба и унифицированные без простановки размеров, значения которых должны быть вычислены по программе (указан код); отведена отдельная зона для вычерчивания оригинальных элементов. Каждому бланк-чертежу присвоен код.

Доработка бланк-чертежа детали заключается в переносе на

него данных из табуляграммы. Значения размеров унифицированных элементов проставляются согласно их коду. Проекция фасонного элемента детали штампа вычерчивают в такой последовательности. На осях XOY в специально отведенной зоне бланк-чертежа прочерчивают контур и размерную сетку проекции фасонного элемента аналогично соответствующему контуру штампуемой детали (данные о привязке контура к осям XOY содержатся в табуляграмме). Из табуляграммы (раздел «Размеры рабочей зоны») выбирают и проставляют номинальные размеры и допускаемые отклонения. Далее дописывают текст технических требований (указывают величину зазора пригонки деталей и т. п.) и заполняют переменные графы основной надписи бланк-чертежа.

В состав получаемого на графопостроителе комплекта чертежей штампа входят эскиз штампуемой детали со схемой раскроя полосы и рабочие чертежи деталей штампа. В САПР предусматривается автоматическое изготовление чертежей для всех деталей штампа, за исключением полностью стандартных. Общий вид стандартного вырубного штампа с верхним прижимом приведен на рис. 7.44. К нему прилагается полученный на ЭВМ комплект чертежей верхней 1 и нижней 6 плит, подкладной плитки, пуансонодержателя 2, резиновой прокладки 3, съемника, матрицы 5, пуансона 4. В комплект деталировочных чертежей вырубного штампа с нижним прижимом входит еще чертеж выталкивателя.

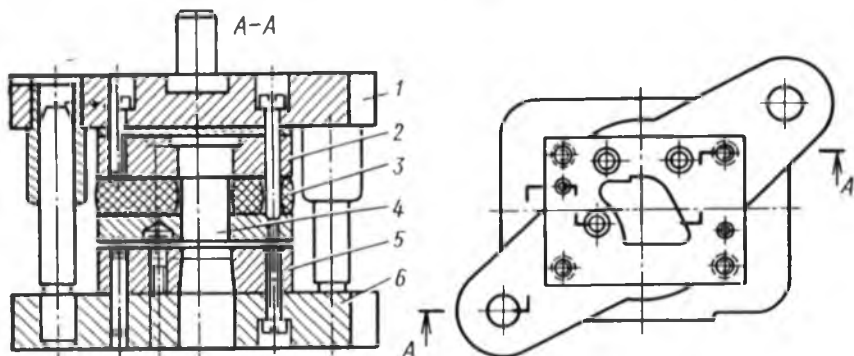


Рис. 7.44. Стандартный вырубной штамп с верхним прижимом заготовки

Комплект чертежей штампа совмещенного действия составляют чертежи верхней и нижней плит, подкладных плиток, пуансон-матрицы, держателя пуансон-матрицы, резиновой прокладки, съемника, матрицы, пуансонов, пуансонодержателя, выталкивателя, траверсы.

К полученным на графопостроителе эскизу штампуемой детали и чертежам деталей штампа прилагаются отпечатанная на АЦПУ спецификация штампа и бланк-чертеж общего вида штампа. Для каждой типовой конструкции штампа разработан один бланк-чертеж. Доработка его сводится лишь к заполнению переменных граф основной надписи.

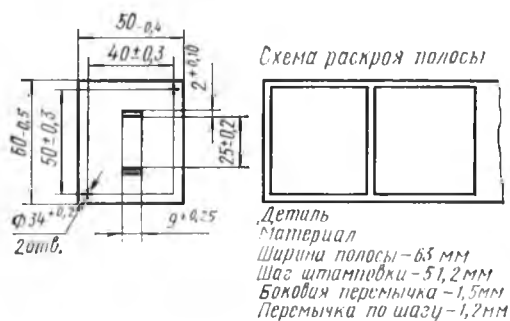


Рис. 7.45. Эскиз штампуемой детали, полученный на графопостроителе

особенностями машинного способа построения чертежей, уровнем математического обеспечения устройств вывода и трудностями машинного синтеза чертежа. Наиболее характерными особенностями являются: большее число проекций и дополнительных видов с целью создания большего пространства для простановки размеров; специализация дополнительных видов и сечений по функциональным группам размеров, например не просто «Вид по стрелке А» или «Сечение Б—Б», а проекция только одного элемента детали с указанием размеров; обозначение дополнительных видов пояснительной надписью, без указания места выносимого изображения на основных видах (например, «рабочий контур», «окно под траверсу», «отверстия для крепления хвостовика» и др.); широкое использование табличной простановки размеров; несколько большие форматы чертежей из-за увеличения числа проекций и видов. Пример чертежа, полученного на графопостроителе, приведен на рис. 7.46.

Внедрение и эксплуатация системы САПР. Работа по подготовке к внедрению системы автоматизированного проектирования штампов начинается с изучения существующего на предприятии порядка проектирования штампов и прохождения технической документации.

После уточнения принятой методики проектирования, используемых руководящих и справочных материалов классифицируют конструкции деталей и узлов проектируемых штампов. Рекомендуется максимально использовать стандартные конструкции; при отсутствии их необходимо провести унификацию форм.

Далее проводят выбор объекта проектирования (определяют типы проектируемых штампов). Затем составляют техническое задание на разработку системы и готовят служеб-

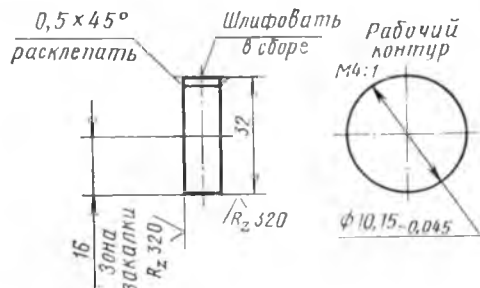


Рис. 7.46. Чертеж пуансона, полученный на графопостроителе

бы предприятия к внедрению САПР — знакомят их с новой формой технической документации. Специалистов предприятия обучают правилам эксплуатации системы.

Программы САПР хранят в ИВЦ предприятия. Там же устанавливают и графопостроитель при использовании системы с автоматизированным вычерчиванием.

Задание на автоматизированное проектирование готовят специалисты в КБ штампов, и после контроля правильности составления его передают в ИВЦ, где осуществляется перфорация исходных данных и расчет по программе. Результаты проектирования: табуляграммы или комплект чертежей, полученных на графопостроителе, вместе с таблицами задания на проектирование возвращаются в группу КБ по автоматизированному проектированию штампов, где осуществляется: при использовании САПР без автоматизированного вычерчивания — контроль полученных результатов и доработка комплекта бланк-чертежей; при использовании САПР с автоматизированным вычерчиванием — контроль полученных спецификации и чертежей деталей штампа и приложение к полученной документации бланк-чертежа общего вида штампа.

Размножение чертежей и внесение в них изменений осуществляется общепринятыми способами.

6. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ И ШТАМПОВ

Одна из главных задач автоматизированной подготовки производства — выбор наилучшего в определенном смысле технологического процесса, т. е. определение такого технически допустимого сочетания технологических параметров (при оптимизации технологического процесса) или сочетания технологических процессов (например, при оптимизации загрузки оборудования), которые отвечали бы заданным требованиям выполнения производственной программы с наименьшими затратами труда, материалов при рациональном использовании оборудования и т. д. Однако технологический процесс штамповки, как и многие другие технологические процессы, представляет собой сложную систему, параметры которой зависят от различных физических, технических, экономических и других факторов. Поэтому адекватное описание влияния этих параметров (тем более факторов, определяющих эти параметры) на технико-экономические показатели процесса штамповки и всего производства в целом — очень трудная задача. Еще более трудная задача — нахождение оптимальных параметров, отвечающих заданному критерию оптимизации.

С усложнением объекта проектирования возрастают и трудности интуитивного восприятия того, насколько совпадают цели совершенствования отдельных элементов объекта (процесса или его отдельных параметров, экономических показателей) и более общих его компонентов. Например, уменьшение напусков приближает

массу поковки к массе детали, но может резко повысить расход металла в облой, снизить стойкость штампа и увеличить трудоемкость процесса. Или, если из двух возможных вариантов изготовления поковки на молоте либо на кривошипном прессе предпочтение будет отдано, например, прессовой штамповке с более высокими экономическими показателями, то это может в некоторых случаях привести к недогрузке по времени молота и соответственно перегрузке кривошипного пресса, т. е. к неравномерному использованию оборудования.

Можно, конечно, на ЭВМ рассчитывать допустимые сочетания параметров процесса, а затем простым перебором вариантов и сравнением их по какому-либо критерию найти такое сочетание параметров, которое удовлетворяло бы критерию оптимальности. Однако во многих случаях даже современные ЭВМ не смогли бы справиться с подобной задачей в приемлемые сроки, так как число сочетаний параметров достигает миллионов и более. Поэтому для решения подобных задач необходимо применить современные методы исследования, использующие приемы поиска оптимальных (или близких к ним) решений при ограниченном объеме вычислений.

Упомянутые выше САПР штамповки основаны на математических моделях, использующих современные прогрессивные методы расчета технологических параметров процессов, которые не всегда используются технологами при неавтоматизированном проектировании из-за сложности и большого объема вычислений. Поэтому результаты автоматизированного проектирования более точны и в ряде случаев существенно превосходят по качеству результаты, получаемые технологом. Однако это еще не дает оснований говорить об оптимальном проектировании с помощью ЭВМ. По-видимому, используемые в САПР основные закономерности, определяющие технологические и конструктивные параметры, и вся математическая модель в целом не адекватно отражают реальный процесс штамповки.

Существующие методы расчета как при традиционном, так и автоматизированном проектировании параметров технологического процесса штамповки и штампов основаны на изучении отдельных элементов или фаз процесса без связи их между собой и с второстепенными факторами. Поэтому технологию штамповки и штампы проектируют последовательным расчетом отдельных технологических и конструктивных параметров. Алгоритм проектирования в целом образуется путем последовательного объединения частных алгоритмов (построением цепной модели).

При таком подходе к исследованию процесса штамповки полученные формулы и соотношения, определяющие, например, величину напусков одного вида, не отражают влияние на них напусков других видов, т. е. имеет место допущение об отсутствии корреляционной связи между большинством технологических параметров. Фактически же такая связь существует.

Практика применения САПР показывает, что методы, построен-

ные на принципе последовательного расчета отдельных параметров, из-за влияния неучтенных факторов и погрешностей, допускаемых в исследовании, позволяют получить лишь одно из технически допустимых решений, при этом показатели спроектированного процесса могут быть далеки от оптимальных значений. В САПР без блоков оптимизации ЭВМ используют как большой арифмометр, значительно ускоряющий вычисления. Однако ЭВМ позволяет использовать новую технологию переработки информации с применением оптимизационных моделей и, следовательно, принимать решения более высокого уровня. Решения, принимаемые с помощью ЭВМ, могут и должны быть оптимальными. Для этого нужен другой подход к проектированию САПР, учитывающий специфические возможности ЭВМ.

Наиболее простой и очевидный путь решения задачи поиска наилучшего варианта — расчет на ЭВМ нескольких (ограниченное число) альтернативных вариантов и выбор из них наилучшего по какому-то определенному критерию. Такой подход предусмотрен, например, в комплексной САПР штамповки, в которой проектируют (если это допустимо по техническим условиям) три варианта технологических процессов горячей объемной штамповки детали типа тела вращения: на молоте, КГШП и ГКМ. После сравнения выбирают тот, который обеспечивает изготовление поковки наименьшей себестоимости. Аналогичным способом выбирают вид раскрыя сортового проката: интервальной, краткой, мерной длины и мерной длины с остатком.

При конструировании штампов возможности оптимального проектного решения еще более ограничены сложностью математического моделирования творческой деятельности конструктора, которая в этом случае включает элементы обучения и самообучения в процессе разработки и испытаний конструкции. В таких случаях целесообразны полуавтоматизированные диалоговые системы проектирования, в которых на ЭВМ осуществляют лишь расчеты по предлагаемым конструктором вариантам решений, а последнее слово остается за самим конструктором. В диалоговых системах реализован неформальный подход к рационализации проектных решений, поэтому они не обеспечивают оптимального в строгом смысле проектного решения, но значительно улучшают проектируемую конструкцию и сокращают время на конструирование.

С таким же неформальным подходом к рационализации проектных решений сталкиваемся при использовании элементов обучения распознаванию образов и адаптации алгоритмов проектирования к условиям конкретного производства методами стохастической аппроксимации. При использовании методов обучения алгоритмы приспособляются к конкретным условиям, которые отражены в обучающей выборке. При этом качество проектирования по алгоритму, прошедшему стадию обучения, зависит от обучающей выборки, так как алгоритм настраивается на проектирование процессов, наиболее близких к данным обучающей выборки. Из этого следует, что необходима тщательная подборка обучающей выборки, а значит,

не исключается субъективное влияние «учителя». Поиск оптимальных (в строгом смысле) решений при проектировании технологических процессов можно осуществить только на базе нормативных моделей.

Рассмотрим решение задачи оптимизации на примере САПР оптимального варианта технологического процесса горячей объемной штамповки поковок типа тела вращения на молотах, в которой на основе исходной информации, включающей сведения о чертеже поковки, годовой партии поковок, а также условно-постоянные сведения (НСИ), отражающие условия производства (например, состав оборудования в цехе и вид проката, поставляемого на завод, и т. п.), проектируют технологический процесс штамповки и штампы, характеризуемые следующими параметрами: массой падающих частей молота, высотой и шириной мостика облойной канавки, диаметром и высотой осаженной заготовки, массой, диаметром и длиной исходной заготовки, штучным временем на изготовление поковки, стойкостью штампов, числом комплектов штампов и т. д. Этим параметрам соответствует определенное значение себестоимости изготовления поковки.

В рассматриваемой САПР управляемыми параметрами $y_1, y_2, \dots, y_n$ являются масса падающих частей молота, размеры мостика облойной канавки, размеры осаженной и исходной заготовки. Остальные параметры $x_1, x_2, \dots, x_m$ — неуправляемые.

Принципиально невозможно достигнуть того, чтобы все управляемые параметры одновременно были оптимальными, если их рассматривать вне взаимной связи, так как требования оптимальности, предъявляемые к отдельным параметрам, противоречивы.

С увеличением, например, такого управляемого параметра, как ширина мостика облойной канавки, возрастает подпор в облое, что уменьшает расход металла в облой, но увеличивает необходимые силы при доштамповке, т. е. приводит к большему числу ударов молота, а следовательно, к увеличению времени штамповки и трудозатрат. Это может привести также к снижению стойкости штампов и повышению затрат на оснастку. При изменении других управляемых параметров технико-экономические показатели процесса штамповки изменяются также сложно. Поэтому расчет оптимального значения какого-то одного из параметров не является самоцелью. При проектировании желательно выбрать такой режим технологического процесса (соотношение управляемых параметров), при котором можно было бы его выполнить наилучшим образом по заданному критерию, т. е. проигрывая в частном — по отдельным параметрам, необходимо выиграть в общем — по экстремальному значению целевой функции.

Для сравнения степени совершенства вариантов проектируемого технологического процесса штамповки вводят функционал, характеризующий его качество — целевую функцию. В качестве целевой функции, отражающей уровень технологии в описываемой САПР, принята себестоимость поковки.

Для реализуемости технологического процесса в условиях кон-

кретного цеха необходимо, чтобы переменные $\{x_1, x_2, \dots, x_m; y_1, y_2, \dots, y_n\}$ — параметры технологического процесса, либо функционалы от них выбирали и рассчитывали по определенным правилам с учетом ограничений первого рода, которые в рассматриваемом случае заданы в алгоритмическом виде (программа для ЭВМ без оптимизатора, использующая НСИ о составе оборудования в цехе, применяемых материалах и т. д.). В результате этих ограничений с помощью ЭВМ проектируют только такие варианты технологического процесса штамповки, которые могут быть реализованы именно в этом кузнечном цехе с учетом применяемого в нем формообразующего, заготовительного (для резки заготовок) и нагревательного оборудования, способа организации производства, типа инструментов и оснастки, поставляемого в цех проката и т. д.

Оптимальные технологический процесс и штампы получают варьированием управляемых параметров процесса $y_1, y_2, \dots, y_n$. На пределы изменений управляемых параметров y_i накладывают ограничения второго рода. Принятие значений y_i вне области допустимых значений приводит к явно нерациональным или неправильным технологическим решениям. Например, при заданной толщине мостика облойной канавки его ширина должна быть больше минимально допустимой, обеспечивающей заполнение гравюры штампа, но меньше максимально допустимой, при которой металл не выдавливается из полости штампа при доштамповке из-за очень большого подпора в облое.

Таким образом, проектирование технологического процесса и штампов рассматривают как технико-экономическую задачу. Под термином *оптимальный* вариант технологического процесса и штампа подразумевается такой вариант, который удовлетворяет заданным ограничениям и является наилучшим по заданному критерию из всех вариантов, удовлетворяющих этим ограничениям.

С изменением целевой функции (критерии качества могут быть разными) и ограничений меняются результаты оптимизации. При изменении условий конкретного производства в данном кузнечном цехе и при изменении его научно-технического уровня происходят количественные изменения соответствующих частей НСИ, вследствие чего система проектирования реагирует на изменение внешней среды.

В САПР технологического процесса и молотового штампа по закодированным данным (см. табл. 7.1) о чертеже детали проектируется чертеж поковки (см. рис. 7.6); определяется приведенная степень сложности поковки

$$S = S_{\Pi} / S_0, \quad (7.5)$$

где S_{Π} — степень сложности формы поковки; S_0 — степень сложности формы заготовки; S_{Π} и S_0 рассчитываются по формуле (2.1) (см. гл. 2).

Размеры облойной канавки определяют следующим образом. Высота мостика h (мм) рассчитывается по формуле

$$h = 2\sqrt{g_{\Pi}} - 0,01g_{\Pi} - 0,09, \quad (7.6)$$

где g_n — масса поковки, кг — определяется через объем V (мм³), рассчитываемый по данным ТКС контура поковки

$$V = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\pi}{3} (Y_{i-1} - Y_i) (X_{i-1}^2 + X_{i-1}X_i + X_i^2) + \right. \\ \left. + 2\pi R_i^2 \left[Y_{oi} \left(\frac{\varphi_i}{2} - \operatorname{tg} \frac{\varphi_i}{2} \right) + \frac{\operatorname{tg}^3(\varphi_i/2)}{3[1 + \operatorname{tg}^2(\varphi_i/2)]} (Y_{oi} - \right. \right. \\ \left. \left. - Y_i) \operatorname{sign}(\sin \varphi_i) \right] \right\},$$

где n — число точек контура (строк в табл. 7.1); Y_{oi} — ордината центра дуги окружности, скругляющей вершину W_i (X_i , Y_i) радиусом R_i , мм; φ_i — центральный угол (в рад) между отрезками прямых контура, пересекающихся в точке W_i , при этом $\varphi_i = \arcsin \varphi_i$, если $\cos \varphi_i > 0$, и $\varphi_i = \pi - \arcsin \varphi_i$, если $\cos \varphi_i < 0$. Параметры Y_{oi} и φ_i определяют с помощью стандартных процедур. Полученное значение h округляют до ближайшего (не обязательно большего) значения из стандартного ряда h (из массива НСИ), применяемых на данном предприятии облойных канавок.

Ширина мостика облойной канавки (мм)

$$l_1 = h(4,93g_{\Pi}^{-0,2} + 0,00383SD_o/h - 0,02), \quad (7.7)$$

где D_o — диаметр заготовки после осадки (мм), рассчитываемый по формуле

$$D_o = \sqrt[3]{4000g_{\text{заг}}/[\pi(H_o/D_o)7,85]},$$

где $H_o/D_o = 0,176 + 0,679H_{\Pi}/D_{\Pi} + 0,864 \cdot 10^{-2}g_{\text{заг}} - 0,862 \cdot 10^{-1}S_{\Pi} +$
 $+ 0,624(H_{\Pi}/D_{\Pi})^2 - 0,164 \cdot 10^{-3}g_{\text{заг}}^2 + 0,947 \cdot 10^{-2}S_{\Pi}^2$;

$g_{\text{заг}}$ — масса заготовки, кг; H_o — высота заготовки после осадки, мм; S и S_{Π} — соответственно приведенная степень сложности (7.5) и степень сложности поковки (2.1).

По известным значениям максимального диаметра поковки D_{Π} и ее высоты H_{Π} , а также по числу поковок в годовой партии n_{Π} определяют следующие параметры штамповки: диаметр $D_{\text{заг}}$ и длину $H_{\text{заг}}$ заготовки, допуски $\Delta D_{\text{заг}}$ и $\Delta H_{\text{заг}}$ (в мм); мерность L и кратность $L_{\text{кр}}$ (при заказе кратной заготовки) проката, силу резания ножниц P_{Π} , Н; температуру подогрева (если нужно) прутка перед резкой t_p , °C; состав бригады резчиков, штучное время $T_{\text{ш.р}}$ (мм) на холодную резку заготовок

$$T_{\text{ш.}} = 0,0996 - 0,244 \cdot 10^{-3}H_{\text{заг}} + 0,335 \cdot 10^{-6}H_{\text{заг}}^2 - 0,116/n_{\Pi} + \\ + 1,613/n_{\Pi}^2 + 0,134 \cdot 10^{-3}P_{\Pi} + 0,281 \cdot 10^{-7}P_{\Pi}^2 + 0,159 \cdot 10^{-1}g_{\text{заг}} - \\ - 0,184 \cdot 10^{-3}g_{\text{заг}}^2$$

или на резку с подогревом

$$T_{\text{ш.р}} = -0,297 - 0,186 \cdot 10^{-2}D_{\text{заг}} + 0,145 \cdot 10^{-4}D_{\text{заг}}^2 -$$

$$\begin{aligned}
& -0,595 \cdot 10^{-4} H_{\text{заг}} + 0,215 \cdot 10^{-6} H_{\text{заг}}^2 + 4,177/n_{\text{п}} - \\
& -17,036/n_{\text{п}} + 0,747 \cdot 10^{-3} P_{\text{п}} - 0,354 \cdot 10^{-6} P_{\text{п}}^2 + \\
& + 0,0147 g_{\text{заг}} + 0,612 \cdot 10^{-4} g_{\text{заг}}^2 .
\end{aligned}$$

Норма штучного времени на штамповку

$$T_{\text{ш. ш}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{п. з}}/n_{\text{п}} + N_{\text{п}} T_{\text{п}}/n_{\text{п}}, \quad (7.8)$$

где $T_{\text{шт}} = (T_{\text{м}} + T_{\text{р.о}}) k_{\text{обсл}}$ — штучное время на штамповку, мин;

$$\begin{aligned}
T_{\text{м}} = & 0,861 \cdot 10^{-2} g_{\text{п}} - 0,884 \cdot 10^{-1} S - 0,749 \cdot 10^{-1} l_1/h + \\
& + 0,362 \cdot 10^{-2} g_{\text{см}} + 0,707 \cdot 10^{-3} D_{\text{п}}/h + 0,105 \cdot 10^{-3} N - \\
& - 0,868 \cdot 10^{-6} g_{\text{п}} N + 0,133 \cdot 10^{-3} S N + 0,204 \cdot 10^{-4} (l_1/h) g_{\text{см}} - \\
& - 0,415 \cdot 10^{-6} g_{\text{см}} N - 0,726 \cdot 10^{-2} N D_{\text{п}}/h - 0,753 \cdot 10^{-7} g_{\text{п}} S - \\
& - 0,581 \cdot 10^{-2} S D_{\text{п}}/h + 0,272 -
\end{aligned} \quad (7.9)$$

машинное время, мин; $g_{\text{см}} = g_{\text{заг}} \ln(H_{\text{заг}}/H_0)$ — смещенная масса (объем) при осадке заготовки, кг; $N = G_{\text{п. ч}}/t_{\text{уд}}$ — мощность одного удара молота, кг/мин; $G_{\text{п. ч}}$ — масса падающих частей молота, кг; $t_{\text{уд}}$ — время одного удара, мин; $T_{\text{р.о}} = 0,182 \cdot 10^{-2} g_{\text{п}} + 0,229 \times$
 $\times 10^{-1} \sqrt{g_{\text{п}}} + 0,0529$ — время на ручные операции, мин; $k_{\text{обсл}}$ — коэффициент на время обслуживания рабочего места, отдых и личные надобности (определяется из массива НСИ в зависимости от $G_{\text{п. ч}}$); $T_{\text{п. з}}$ и $T_{\text{п}}$ — подготовительно-заключительное время и время настройки штампа (мин), взятые из НСИ в зависимости от $G_{\text{п. ч}}$; $N_{\text{п}} = \{n_{\text{п}}/(C_0)_{\lambda}\}$ — число перенастроек штампа (округляется до ближайшего большего целого);

$$(C_0)_{\lambda} = C_{\lambda_0} \quad (7.10)$$

стойкость штампа (шт.) до восстановления, где C_0 — основная стойкость штампа (шт.), рассчитывается по формуле (2.2); λ — коэффициент влияния легированности (определяется из НСИ в зависимости от марки штампуемой стали).

Определяются также температура нагрева заготовки под штамповку $t_{\text{ш}}$ (°C); состав бригады штамповщиков; масса заготовки $g_{\text{заг}}$ и облоя g_0 (кг)

$$g_{\text{заг}} = g_{\text{п. о}} + g_0, \quad (7.11)$$

где $g_{\text{п. о}}$ — масса поковки с отходом при прошивке центрального отверстия (кг);

$$\begin{aligned}
g_0 = & [g_{\text{п}}(15,44 g_{\text{п}}^{-0.2} + 0,117 T g_{\text{п}}^{-0.2} - 0,0138 T l_1/h - \\
& - 0,703 l_1/h - 0,54)]/100,
\end{aligned} \quad (7.12)$$

где $T = S(D_0/D_{\text{п}})^2 \gamma^2$ — критерий для учета влияния на расход металла в облой соотношения форм поковки и заготовки, диаметра заготовки после осадки и положения наружной и внутренней плоскостей разъема штампа; $\gamma = H_{\text{п}}/(h_0 + h_{\text{р. ш}})$ — критерий для учета

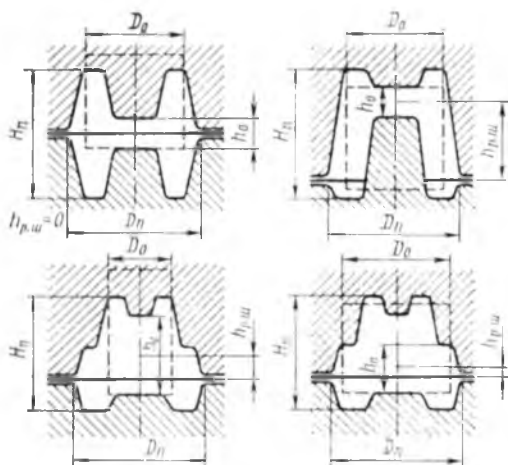


Рис. 7.47. Варианты смещения наружной плоскости разреза штампов и изменение исходного положения заготовки

смещения наружной плоскости разреза штампа относительно внутренней и исходного положения в нем заготовки; h_0 — минимальное расстояние между теми плоскостями в сомкнутом штампе, на которые опирается заготовка в исходном положении, мм; $h_{р.ш}$ — расстояние между внутренней и наружной плоскостями разреза штампа, мм (рис. 7.47).

Рассчитывают норму расхода металла g_p (кг) на поковку и далее в % от нормы расхода: массу облоя — $(g_o/g_p) \cdot 100$; массу угара — $(g_y/g_p) \cdot 100$; отход при прошивке центрального от-

верстия — $(g_{от}/g_p) \cdot 100$; раскройные отходы — $(g_{р.о}/g_p) \cdot 100$. Рассчитывают также коэффициент g_n/g_p выхода годного металла; стойкость $(C_o)_n$ (шт.) штампа; расход штампов $Q_{шт}$ (шт.) на годовую программу; силу $P_{пр}$ (Н) обрезающего пресса; время $T_{пр}$ (мин) на правку поковок; длину AK и ширину BK (мм) штампа; высоту верхнего $HKВ$ и нижнего $HKН$ (мм) штампов; массу верхнего $g_{ш.н}$ и нижнего $g_{ш.п}$ (кг) штампов; общую массу $g_{ш}$ (кг) штампа; размеры заготовок (мм) для штампа; изменяемую часть себестоимости (руб)

$$C_T = 3_M + 3_n + 3_T + 3_{об}, \quad (7.13)$$

где

$$3_M = C_M [(100 + P_M) g_p / 100 - 0,1 (g_p / k_1 - g_{зар} + g_{зар} / k_2 - g_n)] - \quad (7.14)$$

затраты на основные материалы, руб., C_M — цена металла по прейскуранту, руб/кг; P_M — доплата к оптовой цене за мерность в соответствии с прейскурантом, % (определяется из НСИ); k_1 и k_2 — коэффициенты, учитывающие соответственно угар при резке и штамповке;

$$3_n = (N_{шт} T_{ш.ш} + N_p T_{ш.р}) k_d k_c - \quad (7.15)$$

основная заработная плата производственных рабочих, руб.; $N_{шт}$ и N_p — нормативная заработная плата бригады штамповщиков и бригады резчиков, руб. (определяется из НСИ в зависимости от $C_{п.ч}$ и P_n); k_d и k_c — коэффициенты, учитывающие дополнительную заработную плату и начисления на нее (из НСИ);

$$3_T = [C_{изг} Q_{шт} + (k_n V_n + k_o) C_B] / n_{ш} - \quad (7.16)$$

затраты на изготовление и восстановление штампов, руб.; $C_{изг} = 100 g_{п} - 2,75 g_{п}^2 + 96,3$ — стоимость изготовления штампов, руб.; $C_{в} = 7,08 g_{п} - 0,194 g_{п}^2 + 25,7$ — стоимость восстановления штампов, руб.; $k_{в}$ — допустимое число восстановлений штампа;

$$k_{в} = \min[\Delta H / (2zh_{пв}), \Delta H / (2zh_{пн})], \quad (7.17)$$

где ΔH — допустимое изменение высоты штампового пространства, мм (определяется из НСИ в зависимости от $G_{п.ч}$); z — коэффициент, учитывающий ту часть высоты штампа, которая подлежит восстановлению (определяют из НСИ в зависимости от глубины ручья верхнего $h_{пв}$ или нижнего $h_{пн}$ штампа);

$$Q_{шт} = n_{п} / [(k_{в} + 1)(C_{о})_{л}] + 1 - \quad (7.18)$$

число штампов, необходимое для штамповки заданной партии $n_{п}$ поковок, шт. (округляется до ближайшего меньшего целого); $N_{в} = Q_{шт} - 1$ — число штампов (шт.) проходящих полное число восстановлений; $k_{о} = [n_{п} - (k_{в} + 1)(C_{о})_{л} N_{в}] / (C_{о})_{л} - 1$ — число восстановлений последнего штампа (округляется до ближайшего большего целого).

Если годовая партия поковок $n_{п} \leq (C_{о})_{л}$, то $Q_{шт} = 1$, $N_{в} = 0$, $k_{о} = 0$, т. е. штампы восстанавливать не надо, и по (7.16) учитывают только затраты на изготовление одного штампа $Z_{т} = C_{изг} / n_{п}$. Если $(C_{о})_{л} < n_{п} \leq (k_{в} + 1)(C_{о})_{л}$, т. е. для получения партии из $n_{п}$ поковок достаточно одного штампа с учетом $k_{о}$ его восстановлений, то $Q_{шт} = 1$, $N_{в} = 0$, $k_{о} = [n_{п} / (C_{о})_{л} - 1] \leq 1$ и $Z_{т} = C_{изг} / n_{п} + k_{о} C_{в} / n_{п}$ (учитывают затраты на изготовление одного штампа и $k_{о}$ его восстановлений). Если $n_{п} > (C_{о})_{л}$ и $n_{п} > (k_{в} + 1)(C_{о})_{л}$, то $Q_{шт} > 2$ и $N_{в} > 1$. В этом случае при $[n_{п} - (k_{в} + 1)(C_{о})_{л} N_{в}] \leq (C_{о})_{л}$ последний штамп не требует восстановлений, $k_{о} = 0$ и затраты $Z_{т} = C_{изг} Q_{шт} / n_{п} + k_{в} N_{в} C_{в} / n_{п}$ учитывают стоимость изготовления $Q_{шт}$ штампов и $k_{в} N_{в}$ их восстановлений. Если же $[n_{п} - (k_{в} + 1)(C_{о})_{л} N_{в}] > (C_{о})_{л}$, то $k_{о} > 0$ и в этом случае по (7.16) учитывают стоимость изготовления $Q_{шт}$ штампов и затраты на $(k_{в} N_{в} + k_{о})$ их восстановлений.

Затраты $Z_{об}$ (руб.), связанные с работой оборудования

$$Z_{об} = Z_{а} T_{ш.ш} + Z_{пар} T_{м}, \quad (7.19)$$

где $Z_{а} = 0,412 G_{п.ч} + 0,2$ — затраты на амортизацию и текущий ремонт молота, руб./мин.; $Z_{пар} = 1,875 G_{п.ч} + 4,725$ — затраты на пар, руб./мин.

Рассчитанные описанным способом технологические параметры процесса и конструктивные параметры штампа еще не являются оптимальными, так как не обеспечивают минимальной себестоимости. Однако, как показали расчеты на ЭВМ, они близки к оптимальным, и, следовательно, их можно использовать в качестве начальных приближений при расчете оптимальных параметров, обеспечивающих минимальное значение $C_{т}$ (7.13).

В программе для ЭВМ предусмотрено последовательное варьирование величинами $G_{п.ч}$, h , l_1/h , $D_{о}$, $D_{заг}$ в следующих допустимых

пределах от первоначальных расчетных значений $\Delta G_{п.ч} = \pm 20\% G_{п.ч}$; $\Delta h = \pm 25\% h$; $\Delta (l_1/h) = \pm 20\% (l_1/h)$; $\Delta D_o = \pm 10\% D_o$; $\Delta D_{заг} = \pm 10\% D_{заг}$.

Так, если при расчете по программе для ЭВМ без оптимизатора ($G_{п.ч}$) = 5 т, то рассчитывают допустимые пределы изменения этой величины и в соответствии с этим выбирают $G_{п.ч}$ из ряда молотов, имеющих в цехе, т. е. может быть $(G_{п.ч})_1 = 4$ т, $(G_{п.ч})_2 = 5$ т, $(G_{п.ч})_3 = 6$ т. Для этих в рассматриваемом случае трех ($i = 1, 2, 3$) значений $(G_{п.ч})_i$ повторяют расчет на ЭВМ всех технологических и технико-экономических параметров процесса штамповки и определяют соответствующую себестоимость C_{Ti} . Значение $G_{п.ч}^*$, для которого C_{Ti} максимально, считается в первом приближении оптимальным.

Из приведенной методики расчета технологических и технико-экономических параметров процесса штамповки и конструктивных параметров штампа следует, что с увеличением массы падающих частей молота $G_{п.ч}$ возрастают нормативная заработная плата бригады штамповщиков $N_{ш}$, а также коэффициент обслуживания $k_{обсл}$ и время настройки $T_{п}$, что приводит к увеличению нормы штучного времени (7.8), заработной платы (7.15) и, следовательно, к повышению себестоимости поковки (7.13). Одновременно с этим при увеличении $G_{п.ч}$ возрастает мощность одного удара $N = G_{п.ч}/t_{уд}$ и изменяется машинное время T_m (7.9), которое увеличивается с возрастанием $G_{п.ч}$ до какого-то определенного значения, а затем уменьшается, т. е. норма штучного времени (7.8), заработная плата (7.15) и себестоимость (7.13) могут при этом и увеличиваться, и уменьшаться. Кроме того, с увеличением $G_{п.ч}$ возрастает допустимое изменение высоты штампового пространства ΔH , что может увеличить допустимое число восстановлений штампа (7.17), а следовательно, уменьшить расход штампов (7.18), т. е. затраты на оснастку (7.16), и тем самым снизить себестоимость (7.13). К повышению себестоимости приводит увеличение затрат на эксплуатацию оборудования (7.19) с возрастанием $G_{п.ч}$ и т. д. Изменение затрат по элементам учитывают при варьировании величиной $G_{п.ч}$ и определении ее оптимального (по минимуму C_T) значения $G_{п.ч}^*$.

При выбранном $G_{п.ч}^*$ варьируют высотой облойного мостика h в заданных пределах $\pm 25\%$ от первоначального значения, полученного по (7.6) и скорректированного по НСИ. При изменении h изменяется ширина мостика l_1 (7.7), что приводит к изменению расхода металла в облой g_o (7.12), массы заготовки (7.11) и ее размеров $H_{заг}$ и $D_{заг}$, а это изменяет затраты на основные материалы Z_m (7.14). От размеров мостика h и l_1 зависит машинное время T_m (7.9) и заработная плата производственных рабочих Z_p (7.15), стойкость штампов $(C_o)_л$ (7.10) и затраты на изготовление и восстановление штампов Z_T (7.16). Увеличение h может привести к повышению стойкости штампа (2.2 и 7.10), снижению трудоемкости изготовления поковки (7.9), но это может не компенсировать потерю металла в облой (7.12) при изготовлении небольшой партии по-

ковок, и в конечном счете привести к возрастанию себестоимости (7.13) поковки. Из всех значений h (в интервале $\pm 25\%$ от рассчитанного по (7.6) h) выбирается то, которое обеспечивает минимальную себестоимость поковки.

При выбранных оптимальных значениях $G_{п.ч}^*$ и h^* варьируют и выбирают оптимальное отношение $(l_1/h)^*$, затем D_o^* , $D_{заг}^*$ до тех пор, пока не получат оптимальные значения для всех варьируемых параметров технологического процесса штамповки, т. е. пока не будет выполнено условие: $C_T^* = \min C_{Ti}$.

Описанный метод позволяет с помощью ЭВМ найти оптимальный вариант процесса штамповки круглых в плане поволоков с учетом взаимодействия большого числа технологических и технико-экономических факторов. При этом обеспечиваются минимальные затраты на изготовление поволоков.

Применение ЭВМ экономит в среднем $8,7\%$ металла, снижает трудозатраты при штамповке на $2,7\%$, уменьшает себестоимость изготовления поволоков на $8,9\%$, а также освобождает технологов от многовариантных сложных вычислений.

Акаро И. Л., Зуев В. М., Желтова Н. Ф. Современные способы повышения стойкости кузнечных штампов. — М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1971, сер. V, 75 с.

Алиев И. А., Тетерин Г. П. Системы автоматизированного проектирования технологий горячей объемной штамповки «тел вращения» с адаптацией алгоритмов и оптимизацией проектных решений. — М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1983, вып. 2, 44 с.

Бельский Е. Н., Стрельский В. А., Холзаков В. И. Повышение стойкости технологической оснастки литья под давлением. Сер. Металлообработка. — Минск: БелНИИТИ и ТЭИ Госплана БССР, 1977, 39 с.

Богомолов Б. Г., Тетерин Г. П. Алгоритмы проектирования технологии штамповки поковок типа тел вращения на молотах КГШП и ГКМ — М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1982, вып. 5, 82 с.

Брюханов А. П., Ребелский А. В. Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов. М., 1952, 665 с.

Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975, 584 с.

Довнар С. А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки. М., 1975, 255 с.

Зубцов М. Е. Листовая штамповка. Л., 1967, 504 с.

Камнев П. В. Совершенствованиековки крупных поковок. Л., 1975.

Клещев Г. М., Прескуркин Г. А., Тетерин Г. П. Система автоматизированного проектирования штампов. Экспресс-информация. Сер. Технология тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. — М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1982, вып. 18, с. 1—20.

Ковка и объемная штамповка стали. Справочник/Под ред. М. В. Сторожева. М., 1967, т. 1, 436 с.

Митрофанов С. П. Научные основы групповой технологии. Л., 1959.

Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М., 1976, 560 с.

Охрименко Я. М., Антоненко Л. Н., Миронов Л. И. Штампы для горячей обработки металлов и их эксплуатация. М., 1971, 212 с.

Позняк Л. А., Скрынченко Ю. М., Тишаев С. И. Штамповые стали. М., 1980, 244 с.

Разработка автоматизированной системы технологической подготовки кузнечно-штамповочного производства / Петров А. Н., Лутовинов А. И., Десярев Г. В., Яхнис М. А. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 12, с. 13—18.

Роговлев А. М., Согришин Ю. П. Влияние технологии горячей штамповки и свойств штамповых сталей на износ и стойкость штампов (обзор). Сер. С-Х-З.—М.: НИИМАШ, 1971, 90 с.

Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л., 1979, 520 с.

Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М., 1974, 318 с.

Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М., 1971, 424 с.

Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением/Яловый Н. И., Тылкин М. А., Полухин П. И., Васильев Д. И. М., 1973, 631 с.

Тетерин Г. П. Новые методы расчета процессов горячей штамповки. Волгоград, 1969, 113 с.

Тетерин Г. П., Полухин П. И. Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. М., 1979, 284 с.

Тетерин Г. П. Автоматизированное конструирование штампов горячей объемной штамповки для круглых в плане поковок.— М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1983, вып. 9, 49 с.

Тетерин Г. П. Интегрированные автоматизированные системы конструирования и изготовления штампов.— М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1984, вып. 1, 40 с.

Тетерин Г. П., Богомолов Б. Г. Автоматизация проектирования технологических процессов для поковок типа «тел вращения».— М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1980, вып. 8, 60 с.

Трахтенберг Б. Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения. Куйбышев, 1964, 280 с.

Третьяков А. В., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М., 1973, 224 с.

Трофимов И. Д., Бухер Н. М. Автоматы и автоматические линии для горячей объемной штамповки. М., 1981.

Тылкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М., 1981, 648 с.

Тылкин М. А., Яловой Н. И., Полухин П. И. Температуры и напряжения в деталях металлургического оборудования. М., 1970, 428 с.

Шаптыков В. И., Роголев А. М. и др. Шаптыков В. И., Роголев А. М., Васильев Д. И., Роголев А. М. и др. М., 1977, 496 с.

Шнейберг В. М., Акаро И. Л. Кузнечно-штамповочное производство Волжского автомобильного завода. М., 1977.

Akkerman N., Allan T. Computer techniques in forging. — Metals Engineering Quarterly, 1973, 13, № 1, p. 26—28.

Biswas S. K., Knight W. A. Towards an integrated design and production system for hot forging dies. — International J. Proc. Research, 1976, 14, № 1, p. 23—49.

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Основные сведения о конструкциях штампов для горячего и холодного деформирования металлов	9
1. Штампы для горячей штамповки на молотах	9
2. Штампы кривошипных горячештамповочных прессов	13
3. Штампы горизонтально-ковочных машин	19
4. Штампы для новых технологических процессов горячего деформирования	21
5. Штампы для разделительных операций при холодном деформировании	25
6. Штампы для формоизменяющих операций при холодном деформировании	26
Глава 2. Условия эксплуатации, износ и стойкость штампов	27
1. Основные факторы, определяющие условия эксплуатации и стойкость штампов	27
2. Скоростные параметры штамповки	28
3. Температурные параметры штамповки	29
4. Силовые параметры штамповки	34
5. Напряженное состояние штампов	37
6. Смазочные материалы	42
7. Основные виды износа деформирующего инструмента	45
8. Стойкость деформирующего инструмента на различном кузнечно-штамповочном оборудовании	58
Глава 3. Материалы, применяемые для изготовления деформирующего инструмента	63
1. Основные свойства	63
2. Классификация и химический состав	89
3. Выбор материалов для деформирующего инструмента	98
Глава 4. Выплавка и механическая обработка штамповых сталей	107
1. Выплавка	107
2. Ковка	112
3. Обработка резанием	114
Глава 5. Термическая обработка деформирующего инструмента	115
1. Закалка	115
2. Отпуск	119
3. Термомеханическая обработка	124
4. Виды брака и контроль качества термической обработки штампового инструмента	125
Глава 6. Поверхностная упрочняющая обработка деформирующего инструмента	129
1. Термическая обработка при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ)	129
2. Химико-термическая обработка	132
3. Наплавка	141
Глава 7. Автоматизация проектирования штампов	145

1. Основы создания систем автоматизированного проектирования (САПР) в кузнечно-штамповочном производстве	145
2. Автоматизированное проектирование молотовых штампов для продольной штамповки круглых в плане поковок	153
3. Автоматизированное проектирование технологических переходов и ручьев штампов ГКМ	172
4. Автоматизированное проектирование молотовых штампов для поковок сложных форм	178
5. Автоматизированное проектирование штампов холодной листовой штамповки	195
6. Оптимизация при автоматизированном проектировании технологических процессов штамповки и штампов	209
Список литературы	220

Дмитрий Иванович Васильев,
Михаил Аркадьевич Тылкин,
Герман Прокдпьевич Тетерин

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Зав. редакцией *К. И. Аношина*. Редактор *Л. Н. Шатунова*. Художник *В. В. Гарбузов*. Художественный редактор *Т. А. Дурасова*. Технический редактор *З. В. Нуждина*. Корректор *В. В. Кожуткина*.
ИБ № 4368

Изд. ОТ—446. Сдано в набор 16.01.84. Подп. в печать 03.07.84. Т-15059. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 14 усл. печ. л. Усл. кр.-отт. 14. Уч.-изд. л. 16,06. Тираж 8000 экз. Зак. № 158. Цена 95 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14. Белоцерковская книжная фабрика, 256400, г. Белая Церковь, ул. Карла Маркса, 4.