Е. А. БУТУЗОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ШТАМПОВКИ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва — 1963

В книге описаны особые виды штамповки, широко применяемые в мелкосерийном и опытном производствах при изготовлении деталей из листовых и профильных материалов: штамповка резиной и ее разновидности, гидроштамповка, штамповка на падающих молотах, специальных прессах и станках, штамповка взрывом, обкатка и раскатка.

Изложены теоретические основы и принципы этих видов штамповки, указаны основы расчета технологических операций, а также даны рекомендации и исходные материалы для проектирования штамповочной оснастки.

Книга является учебным пособием для вузов и может быть полезна технологам и конструкторам, занимающимся холодной штамповкой.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Специальные виды штамповки за последнее время появились на предприятиях различных отраслей промышленности. Сведения о специальных видах холодной штамповки (без применения инструментальных штампов) встречаются также в ряде литературных источников, в том числе в периодических изданиях. Надо полагать, что назрела необходимость обобщить основные сведения о специальных видах штамповки. Такая книга необходима для студентов машиностроительных вузов, а также может быть использована работниками промышленности, специализирующимися в области холодной штамповки.

Глубокое познание того или иного технологического процесса возможно лишь при условии изучения физических явлений, лежащих в основе процесса. Это явилось основанием для того, чтобы включить в данную книгу соответствующие разделы, посвященные современным теоретическим основам специальных видов штамповки.

В приложении приведен перечень терминов с их трактовкой, учитывающей достижения в технологии штамповки. Правильное понимание терминов и определений облегчит усвоение материала книги.

При работе над рукописью автор консультировался с заслуженным деятелем науки и техники доктором технических наук профессором Э. А. Сателем и профессором В. Г. Саксельцевым.

В подготовке рукописи и графического материала большая помощь была оказана инженерами Е. Б. Бабкиным и Л. А. Кашуба, а также аспирантом В. Ф. Апанасенко.

Ввиду того, что в настоящей книге относительно небольшого объема обобщен обширный материал, затрагивающий физиче-

скую сущность и технологию специальных видов штамповки, оценку их достоинств и недостатков, определение области их применения, рекомендации по проектированию и изготовлению технологической оснастки, она не может претендовать на исчерпывающую полноту и не лишена недостатков.

Все замечания по содержанию книги, советы, указания и пожелания следует направлять по адресу: Москва, Центр, Неглинная улица, 29/14, издательство «Высшая школа».

ВВЕДЕНИЕ

Холодная листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных высокопроизводительных и малотрудоемких методов обработки металлов, позволяющих легко механизировать и автоматизировать процессы изготовления деталей. Она позволяет получать изделия сложной пространственной формы с большой степенью точности и минимальными отходами металла.

Применение холодной штамповки связано с изготовлением сравнительно дорогой оснастки — инструментальных штампов. Поэтому холодная штамповка оправдывает себя лишь при большом выпуске деталей, т. е. в массовом и крупносерийном производствах. В мелкосерийных и опытных производствах холодная штамповка с применением обычных инструментальных штампов экономически невыгодна.

Неоспоримые достоинства холодной штамповки заставили искать новые ее разновидности, не требующие дорогостоящих мощных прессов и штампов. Применение в машинах новых конструкционных материалов, обладающих специфическими особенностями (хрупкость, склонность к налипанию на формоизменяющий элемент, высокие механические характеристики и т. д.), также заставило искать новых видов штамповки.

Новые разновидности холодной штамповки были разработаны рядом мелкосерийных предприятий и особенно успешно применены в последнее время в производстве крупногабаритных маложестких оболочек и емкостей облегченного типа.

Эти предприятия имеют ряд особенностей: 1) быструю сменность объектов производства; 2) большую номенклатуру деталей; 3) крупные габариты деталей; 4) относительно высокую точность деталей. Применение обычных инструментальных штампов в этих условиях не эффективно как по экономическим, так и по организационным соображениям.

Изложенное выше можно пояснить следующими положениями. Быстрая сменность объектов производства обусловливает относительно небольшое число деталей, снимаемых с каждого штампа в период производства данного объекта.

Большая номенклатура деталей, крупные габариты и требуемая высокая точность их изготовления обязывают иметь на предприятии большой комплект дорогостоящих крупногабаритных штампов.

Опыт показал, что в условиях мелкосерийного производства инструментальные штампы используются далеко не полностью — всего лишь на 5—8% рабочего ресурса [1]. Штампы, снятые с производства, технически вполне пригодные для дальнейшей работы, вследствие «морального» износа отправляли на переплавку. В таких условиях стоимость штампов составляет значительную долю в стоимости выпускаемых изделий. Кроме того, инструментальные штампы не обеспечивают условия гибкости производства [2].

Изготовление комплекта крупногабаритных штампов для штамповки сопрягаемых деталей представляет большие трудности, поскольку требования к точности штампов высокие и они должны быть взаимоувязаны в пределах заданных допусков.

Изготовление такого комплекта штампов посильно только заводу крупного машиностроения, а время на его изготовление может достигать года и даже более, что совершенно не соответствует условиям быстрой сменности объектов производства.

В настоящее время разработан ряд новых видов холодной штамповки, экономически эффективных при штамповке деталей относительно небольшими сериями и отвечающих требованиям гибкости производства. К ним относятся: штамповка резиной; гидрорезиноштамповка; ударная штамповка резиной; гидроштамповка; штамповка на падающих молотах; штамповка на специальных станках и прессах; обкатка и раскатка; штамповка взрывом.

Применение этих видов штамповки рационально в условиях мелкосерийного и опытного производства при изготовлении деталей из листового и профильного материала.

Специфической особенностью указанных видов штамповки является возможность формообразования деталей одним жестким формоизменяющим элементом (пуансоном или матрицей). При некоторых видах штамповки такой формоизменяющий элемент будет универсальным.

Малая стоимость и трудоемкость изготовления штамповочной оснастки объясняются специфическими ее особенностями, применением легко обрабатываемых материалов, отсутствием необходимости производства высокотрудоемкой подгонки матриц по пуансонам, а также рядом других принципиальных особенностей, указанных в настоящей книге.

---

[1] Рабочий ресурс — продолжительность работы машины, агрегата, детали, технологической оснастки в нормальных условиях, выраженная во времени, числе срабатываний, количестве обработанных деталей и т. д. при условии, если изменение характеристик работы не превышает допустимые пределы.

[2] Гибкость производства — возможность переналадки производства в короткие сроки при минимальных затратах материальных и технических средств.

Глава I

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

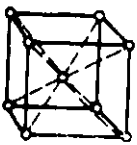
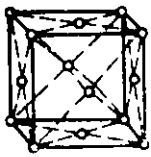
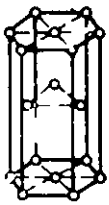
§ 1. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Технические металлы являются поликристаллическими телами, состоящими из большого количества различно ориентированных зерен — кристаллитов дендридной формы (неправильной, ветвистой).

Кристаллит так же, как и монокристалл (отдельный кристалл данного металла), состоит из расположенных в опреде-

Таблица 1

Типы пространственных решеток у различных металлов

Тип решетки	Схема решетки	Металлы, которым свойственны данные типы решеток
Гранецентрированная кубическая		Медь, железо, никель, алюминий, свинец, серебро
Объемноцентрированная кубическая		Железо, хром, молибден, титан, вольфрам, ванадий, цирконий
Гексагональная плотно упакованная		Бериллий, магний, цинк, кадмий, титан

ленном порядке пространственных атомных решеток, именуемых кристаллическими [3, 8, 16, 34, 36, 37]. Кристаллы представляют собой совокупность атомов или молекул, определенно расположенных в пространстве. В зависимости от металла, температуры его нагрева и условий кристаллизации решетки бывают нескольких типов. Наиболее распространенные типы пространственных решеток приведены в табл. 1.

В расплавленном металле всегда имеется множество различно направленных центров кристаллизации. Кристаллиты при отвердении расплава растут, наталкиваются друг на друга, последнее прекращает их дальнейший рост. Между зернами с различным направлением решеток имеются границы в виде тонкого слоя атомов.

После отвердения всего расплава металл приобретает поликристаллическое строение.

§ 2. ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ В МЕТАЛЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ

Пластические деформации во многом зависят от типа пространственных решеток монокристаллов. Монокристалл пластически деформируется в основном вследствие 1) скольжения или сдвига отдельных частей монокристалла по отношению к другим его частям по кристаллографическим плоскостям; в этих плоскостях атомы расположены наиболее густо; 2) двойникования (рис. 1), при котором одна часть деформированного кристалла переходит в положение, симметричное к другой части относительно плоскости, называемой плоскостью двойникования. Новое положение части монокристалла является зеркальным изображением исходного.

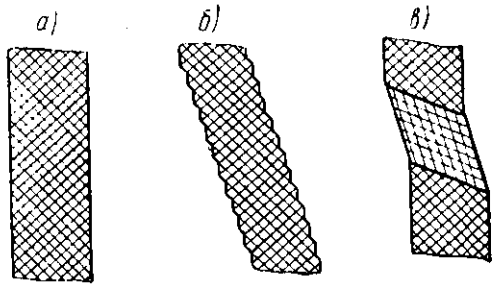


Рис. 1. Пластическое деформирование монокристалла:

а — исходное положение; *б* — деформация скольжения; *в* — деформация двойникования

Эти деформации в монокристалле или кристаллите могут происходить раздельно или совместно.

Экспериментально установлено, что процессы пластической деформации монокристалла и кристалла аналогичны. Однако деформация поликристаллического тела намного сложнее, так как в ней участвуют межкристаллитные прослойки и процесс

протекает при взаимном влиянии кристаллитов друг на друга. Под влиянием приложенных усилий возможно смещение одной части кристаллита по отношению к другой по плоскостям скольжения. Сдвиги в кристаллите воздействуют на смежные кристаллиты, вызывая в них также сдвиги, что в конечном итоге может вызвать перемещение одного кристаллита по отношению к другому по их границам. Одновременно возможно и обратное явление, когда перемещение одного кристаллита по отношению к другому вызывает сдвиги по плоскостям скольжения. Оба процесса перемещений кристаллитов необратимы.

Пластическая деформация тела, происходящая благодаря перемещению одного кристаллита по отношению к другому, называется межкристаллитной деформацией.

Пластическая деформация, происходящая по плоскостям скольжения, носит название внутрикристаллитной деформации.

При пластическом деформировании тела наблюдаются оба вида деформации.

Межкристаллитные перемещения понижают прочность металла, так как разрушаются отдельные ветви кристаллитов, что может привести к разрушению металла.

Одним из условий более высокой пластичности является преобладание внутрикристаллитной деформации.

Следует отметить, что внутрикристаллитные скольжения также имеют предел, после которого металл разрушается.

Прочность границ кристаллитов зависит от условий кристаллизации, величины зерен, количества и рода примесей.

Прочность по плоскостям скольжения определяется силами связи в кристаллической решетке, зависящей от рода атомов и типа решетки.

При пластической деформации наблюдается некоторая неоднородность процессов, вызванная неоднородностью металла, в результате чего в металле возникают внутренние напряжения.

При нагреве холоднодеформированного металла до некоторой заданной температуры в течение определенного времени происходит снятие значительной доли остаточных напряжений. Этот процесс называется возвратом.

Нагрев до более высоких температур, чем при возврате, вызывает рекристаллизацию. При рекристаллизации образуются новые центры кристаллизации и появляются новые зерна за счет обломков разрушенных кристаллитов.

Величина зерен, образующихся в процессе рекристаллизации, зависит от температурного режима (температуры и времени нагрева) и степени деформации металла, предшествовавшей рекристаллизации.

§ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Процессы деформации поликристаллов под действием внешних сил нельзя глубоко изучить без анализа явлений, происходящих в атомном строении металла.

Напомним, что атомы состоят из протонов, электронов и нейтронов (и других частиц, открытых в последнее время), связанных силами сцепления.

Деформирование металла влияет на существующие в металле силы сцепления. При любой форме деформации металл подвергается растяжению и сжатию. При растяжении происходит увеличение межатомных расстояний, при сжатии — их сокращение.

При растяжении силы притяжения быстро убывают, и пластическое течение возможно только в том случае, когда в металле существуют свободные электроны, которые могут появиться между атомами и служить связующим звеном в атомной цепочке.

В зависимости от величины импульса, воздействующего на металл, возможны необратимые изменения как каждого межатомного расстояния, так и очаговые, где необратимые изменения межатомного расстояния локализуются в зонах с дефектами в строении металла.

Из-за неоднородности строения металл энергетически неоднороден и при деформации чаще всего наблюдается очаговая форма изменения внутреннего строения металла.

Энергия металла представляет сумму кинетической и потенциальной энергии всех атомов, входящих в него.

Мерой кинетической энергии является температура тела, которая представляет собой среднюю колебательную энергию атома относительно некоторого положения равновесия в кристаллической решетке.

Потенциальной энергией называют работу, которая необходима, чтобы вырвать атом из кристаллической решетки и унести его в бесконечность. С этой точки зрения наиболее прочные межатомные связи обладают максимальной потенциальной энергией.

Если воздействовать на металл наружными силами, то деформироваться он будет неравномерно — в первую очередь участки с пониженной потенциальной энергией.

Ранее отмечалось, что процесс формоизменения металлов зависит от скорости деформирования, внутреннего строения и температуры, при которой происходит деформирование.

Рассмотрим влияние этих факторов.

1. Влияние скорости деформирования металла на процесс формоизменения.

В ряде литературных источников под скоростью деформирования металла подразумевают время воздействия элементов штампа на заготовку в процессе формоизменения.

Характер смещения атомов, а следовательно, и внутренняя структура металла при деформациях зависят от величины импульса, воздействующего на каждый атом.

Известно, что импульс определяется соотношением:

$$I = mv = Pt, \qquad (1)$$

где m — масса;
v — скорость;
P — прилагаемое усилие;
t — время.

Процессы деформации можно рассматривать по-разному: в зависимости от скорости течения металла, от прилагаемого усилия и времени воздействия его на металл.

При малых скоростях деформации происходит перемещение атомов на расстояния, кратные или не кратные межатомным, без значительного перекрытия электронных оболочек.

Сдвиг и изгиб пространственной атомной решетки соответствуют средним скоростям образования блоков и происходят путем дробления зерен с избыточной потенциальной энергией на отдельные части. При деформациях блоки поворачиваются, и характеристики зерен в направлении деформации выравниваются.

При деформациях сдвига происходит скольжение одних частей монокристалла или кристаллита относительно других по плоскостям скольжения. На плоскостях скольжения атомы обладают максимальной потенциальной энергией, в смежных с ними атомных рядах потенциальная энергия ниже, поэтому по этим плоскостям скольжения и происходят перемещения.

В процессе пластической деформации возникает искажение пространственной атомной решетки и превращение плоскостей скольжения в периодические поверхности.

При больших скоростях деформирования (ударное импульсное деформирование) наблюдается двойникование. При этом процессе происходит одновременно скольжение по системам атомных плоскостей, параллельным «плоскости двойникования», на расстояния, пропорциональные расстоянию этих плоскостей от плоскости двойникования. В результате происходит поворот деформированной части кристалла в положение, зеркальное по отношению к недеформированному.

При импульсных скоростях деформирования происходят перестроения электронных оболочек атомов, причем достигается новое метастабильное состояние с характерными для него значениями сил отталкивания и притяжения. В результате металл приобретает повышенную прочность и пластичность. Микроструктура металла детали отражает все выше перечисленные явления.

2. Влияние внутреннего строения металла на процесс формоизменения.

Все технические металлы являются сплавами и содержат в тех или иных количествах растворимые и нерастворимые примеси. Для сплавов характерны твердые растворы, которые по типу кристаллической решетки можно разделить на растворы замещения и растворы внедрения.

Кристаллическая решетка твердого раствора замещения представляет собой решетку основного металла, в которой часть атомов замещена атомами легирующего компонента.

В кристаллической решетке твердого раствора внедрения атомы одного металла размещены в межатомных пространствах решетки другого металла.

Сплавы представляют собой однофазные твердые растворы или смесь различных фаз, причем устойчивой из них при данной температуре будет фаза с минимальной свободной энергией вещества. Остальные неустойчивые и с течением времени должны подвергнуться распаду и перейти в устойчивую форму.

Для строго определенных температуры и внешнего давления существует строго определенный предел растворимости одного компонента в другом. Поэтому при приложении внешних усилий в процессе формоизменения заготовки возможны фазовые превращения.

Помимо этой чисто физической неоднородности строения атомной решетки, могут быть и механические ее повреждения: отсутствие атомов в узлах решетки, присутствие атомов в междуузлиях и т. д. Эти первичные несовершенства строения пространственной атомной решетки называют дислокациями.

В металлах существуют нерастворимые примеси, которые располагаются по границам кристаллов. Взаимодействие атомов межкристаллического вещества иное, чем взаимодействие атомов внутри кристаллов, вследствие чего свойства металлов по границам зерен иные, чем внутри зерен. Наконец, в строении металла могут быть и макронарушения: пустоты, рыхлости и трещины.

Механизм явлений сдвига, блокообразования, двойникования и изгиба пространственной атомной решетки можно объ-

яснить движением дислокаций с последующей их разрядкой на внешних границах кристаллов.

3. Влияние температуры деформируемого металла на процесс формоизменения.

При деформировании заготовки внешними усилиями приходится преодолевать действие межатомных сил, т. е. в этом случае энергия, передаваемая к заготовке от наружных рабочих элементов штампа, будет затрачиваться на преодоление потенциальной энергии атомов. Чтобы понизить потенциальную энергию атомов, необходимо увеличить ее кинетическую часть, т. е. повысить температуру.

При горячей штамповке заготовку нагревают выше температуры рекристаллизации. При повышении температуры кинетическая энергия атомов после некоторого значения начинает преобладать над потенциальной. Атомы преодолевают силы взаимодействия и легко диффундируют. При этом происходит более равномерное распределение компонентов по объему металла, вследствие чего возможно растворение карбидов.

Наоборот, при понижении температуры межатомные связи усиливаются, и прочность сплава увеличивается. Усиление связей сопровождается сжатием кристаллографической решетки, при этом легирующие элементы выпадают либо в чистом виде, либо в виде химических соединений, в зависимости от типа диаграммы состояния между компонентами, входящими в сплав.

Общая особенность влияния температуры на металл заключается в следующем: при сравнительно низких температурах деформация происходит в основном за счет явлений, протекающих внутри кристаллитов при температурах, близких к температуре плавления, скольжение по границам кристаллитов играет значительную роль в общем процессе протекания пластической деформации.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ

Пластические свойства, т. е. способность металла в определенных условиях под действием прикладываемых к телу нагрузок деформироваться без нарушения целостности металла, в значительной мере зависят от скорости прилагаемых нагрузок.

Под скоростью прилагаемой нагрузки понимают нарастание нагрузки от нуля до максимума во времени. От прилагаемой нагрузки и характера нарастания значительно зависят пластические свойства материала, следовательно, и возможности фор-

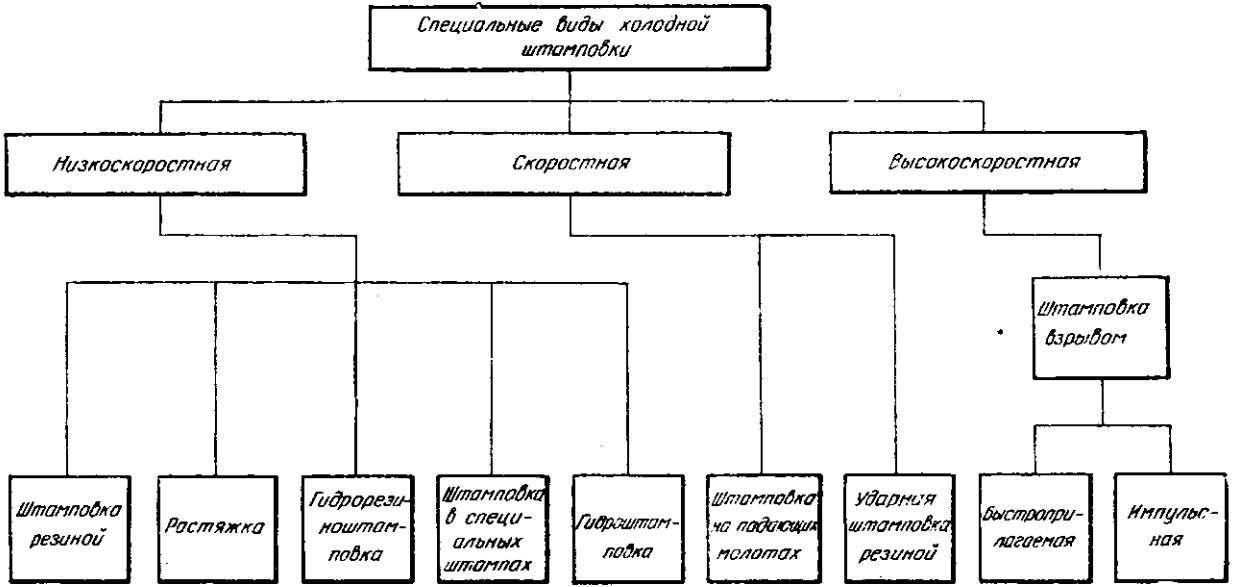


Рис. 2. Классификация методов холодной штамповки

моизменения заготовки. Кроме того, фактор скорости отражает энергетическую сущность формоизменения внутреннего строения металла, т. е. качество материала отштампованной детали.

Различным видам холодной штамповки свойственны определенные пределы скоростей деформирования, что может быть положено в осчову классификации методов холодной штамповки.

Деформации могут быть: 1) низкоскоростные (статические); 2) скоростные; 3) высокоскоростные (динамические).

Деформации с низкими скоростями наблюдаются при штамповке резиной, гидрорезиноштамповке, гидроштамповке, растяжке и штамповке в специальных прессах.

Скоростная деформация наблюдается при штамповке на падающих молотах и ударной штамповке резиной.

Высокоскоростные деформации могут быть от быстроприлагаемой нагрузки и от импульсной.

Высокоскоростная деформация происходит в течение миллиили микросекунд и бывает, например, при взрывной штамповке.

Классификация методов холодной штамповки приведена на рис. 2.

Глава II

ШТАМПОВКА РЕЗИНОЙ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сущность штамповки резиной сводится к тому, что один из жестких формоизменяющих элементов штампа (матрица или пуансон) заменяется резиновой подушкой, которая при рабочем ходе обжимает по жесткому формоизменяющему элементу — обычно пуансону (формоблоку) — заготовку из листового металла, уложенную на этот элемент.

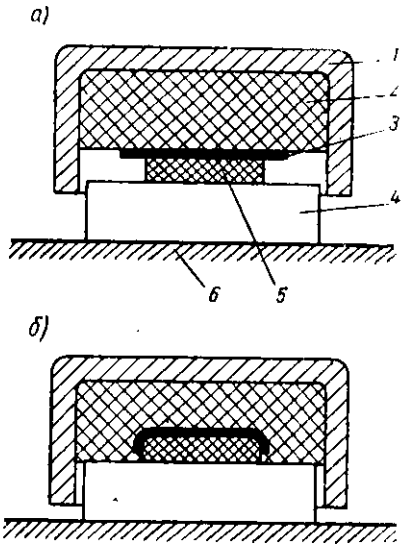


Рис. 3. Принципиальная схема штамповки резиной:

а — до штамповки; *б* — после штамповки; *1* — контейнер; *2* — резиновая подушка; *3* — заготовка детали; *4* — подштамповая плита; *5* — жесткий элемент штампа — пуансон; *6* — стол пресса

Резиновую подушку заключают в высокопрочную емкость — контейнер, который закрепляют на ползуне пресса (рис. 3). Жесткий формоизменяющий элемент устанавливают на подштамповую плиту, закрепляемую на нижней плите пресса.

При рабочем ходе пресса подштамповая плита с установленным на ней жестким формоизменяющим элементом входит в контейнер и деформирует резиновую подушку, которая, обжимая заготовку, выполняет роль универсальной матрицы или пуансона.

В обычных стальных штампах работы по подгонке поверхности матрицы по поверхности пуансона весьма трудоемки, особенно при штампах для штамповки тонколистовых крупногабаритных деталей. При штамповке резиной эти работы от-

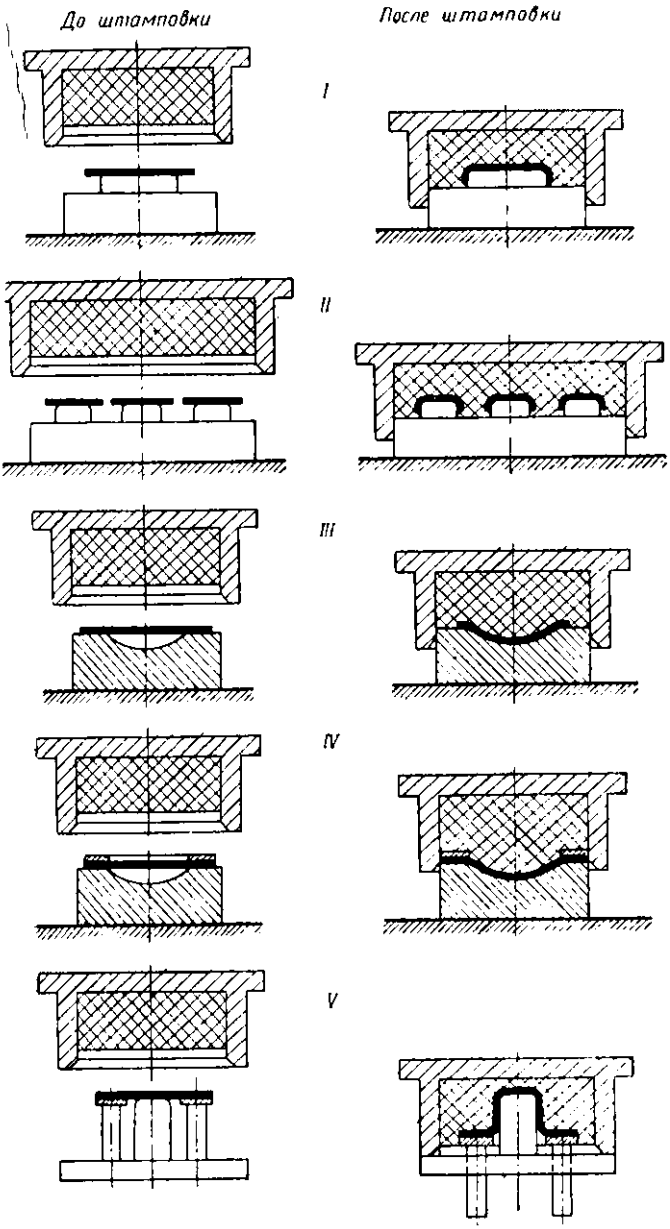


Рис. 4. Классификация схем штамповки резиной

падают, а изготовление одного жесткого формоизменяющего элемента не представляет трудностей, поскольку обычно его изготовляют из легкообрабатываемых материалов (сплавов алюминия, балинита, пластмассы и др.).

Известно пять схем штамповки резиной (рис. 4).

Схема I — штамповка без прижима с резиновой подушкой, работающей в качестве матрицы.

Схема II — то же, но при установке на подштамповую плиту нескольких пуансонов — групповая штамповка.

Схема III — штамповка без прижима с резиновой подушкой, работающей в качестве пуансона.

Схема IV — штамповка с прижимом и резиновой подушкой, работающей в качестве пуансона.

Схема V — штамповка с прижимом и резиновой подушкой, работающей в качестве матрицы.

Регулировки усилия прижима можно достигнуть изменением внутреннего диаметра прижимного кольца. Чем больше этот диаметр, тем меньше площадь кольца, воздействующая на фланец заготовки, и усилие прижима:

$$P_{\text{п}} = Q_{\text{р}} F_{\text{к}} = Q_{\text{р}} \frac{\pi (D_{\text{к}}^2 - d_{\text{к}}^2)}{4}, \qquad (2)$$

где $P_{\text{п}}$ — усилие прижима, *кГ*;

$Q_{\text{р}}$ — давление, развиваемое резиновой подушкой, *кГ/см²*;

$F_{\text{к}}$ — площадь прижимного кольца, *см²*;

$D_{\text{к}}$ — наружный диаметр прижимного кольца, *см;*

$d_{\text{к}}$ — внутренний диаметр прижимного кольца, *см.*

При штамповке резиной обычно применяют крупные гидравлические прессы. Штамповка деталей даже относительно небольших габаритов требует больших усилий пресса. Например, при рабочей площади контейнера 100×50 *см* и при давлении резиновой подушки $Q_{\text{р}} = 200$ *кГ/см²* требуется пресс, развивающий усилие $P_{\text{п}} = 100 \times 50 \times 200 = 1\,000\,000$ *кГ* = 1000 *т*.

Необходимость крупного прессового оборудования является основным недостатком метода штамповки резиной. Это объясняется тем, что стоимость таких прессов очень велика. Прессы занимают большие производственные площади и сложны в наладке. В настоящее время усилие применяемых прессов доходит до 75 000 *т* и выше. Эти прессы уникальны и не могут быть рекомендованы для широкого применения в мелкосерийном производстве.

§ 2. ДАВЛЕНИЯ, РАЗВИВАЕМЫЕ РЕЗИНОВЫМИ ПОДУШКАМИ

В ряде литературных источников указано: резина подобна вязкой жидкости и передает давления во все стороны с одинаковой силой, т. е. подчиняется закону Паскаля. Иногда это положение сопровождается некоторыми оговорками.

Последние работы в этой области показали, что в действительности в отдельных зонах резиновой подушки, заключенной в контейнер, давления различны.

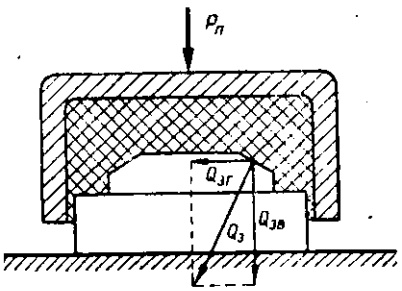


Рис. 5. Зональное давление и его составляющие

Обозначим эти зональные давления через $Q_з$. Величина $Q_з$ является вектором: ее вертикальную составляющую обозначим через $Q_{зв}$, а горизонтальную — через $Q_{зг}$ (рис. 5). Среднее расчетное давление равно:

$$Q_р = \frac{P_{пр}}{F}, \tag{3}$$

где $P_{пр}$ — усилие пресса, $кГ$;

F — рабочая поверхность резиновой подушки, $см^2$.

Введем понятие коэффициента использования давления η, который представляет собой следующее соотношение:

$$\eta = \frac{Q_з}{Q_р}. \tag{4}$$

Этот коэффициент характеризует степень использования усилия пресса в различных зонах и является своеобразным «коэффициентом полезного действия контейнера».

Таким образом, зональное давление:

$$Q_з = \eta Q_р. \tag{5}$$

Так как $Q_з$ является вектором, то его можно разложить на составляющие: горизонтальную и вертикальную:

$$Q_{зг} = \eta_г Q_р \quad \text{и} \quad Q_{зв} = \eta_в Q_р.$$

Работа резиновой подушки характеризуется еще г р а д и е н т о м д а в л е н и я.

Градиент давления есть перепад давлений в данном направлении на единицу длины, т. е.

$$Г = \frac{Q'_з - Q''_з}{l_{1-2}}. \tag{6}$$

где Γ — градиент давления;

$Q'_з$ — давление в данном направлении в точке *1*;

$Q''_з$ — давление в том же направлении в точке *2*;

l_{1-2} — расстояние между точками *1* и *2*.

Если знать значения коэффициентов использования давлений и градиенты давлений для различных условий и зон контейнера, то можно определить величину зональных давлений. Эти данные необходимы при расчетах штамповочных операций.

Исследования работы резиновых подушек показывают, что коэффициент использования давления и градиент давления зависят от многих факторов. К основным из них относятся: сорт резины, из которого изготовлена подушка; коэффициент трения между резиновой подушкой и внутренними поверхностями контейнера; соотношение между толщиной резиновой подушки и высотой жесткого формообразующего элемента; отношение объема резиновой подушки к объему, заполняемому резиной при рабочем ходе; внутреннее очертание контейнера.

Рассмотрим влияние перечисленных факторов на градиент и коэффициенты использования давлений.

1. Влияние сорта резины

Чем тверже резина, чем меньше ее относительное удлинение, тем больше будут вертикальные составляющие давлений и меньше горизонтальные. При твердых резинах градиент давлений возрастает, особенно в зонах, заполняемых резиной при рабочем ходе контейнера. С повышением твердости резины коэффициенты использования давлений для вертикальных составляющих увеличиваются.

2. Влияние коэффициента трения между резиновой подушкой и внутренними поверхностями контейнера.

Коэффициент трения между резиновой подушкой и поверхностями, с которыми она соприкасается, влияет на градиент давлений и коэффициент использования. С уменьшением коэффициента трения уменьшаются градиенты давлений и уменьшается разность между коэффициентами использования давлений по вертикальным и горизонтальным составляющим.

С уменьшением трения свободные объемы заполняются при меньших значениях $Q_р$.

Повышение горизонтальных составляющих давления и уменьшение коэффициента трения достигается смазкой поверхностей резиновых подушек.

3. Влияние соотношения между толщиной резиновой подушки и высотой жесткого формообразующего элемента

Увеличение этого соотношения повышает коэффициент использования давлений для горизонтальных составляющих.

При повышении соотношения $\frac{H'}{h_{шт}}$ заполнение свободных объемов происходит при более низких давлениях,

где H' — толщина резиновой подушки;

$h_{шт}$ — высота пуансона.

4. Влияние соотношения между объемом резиновой подушки и объемом, заполняемым резиной при рабочем ходе.

Величина рабочего хода контейнера связана с высотой жесткого формообразующего элемента соотношением (рис. 6):

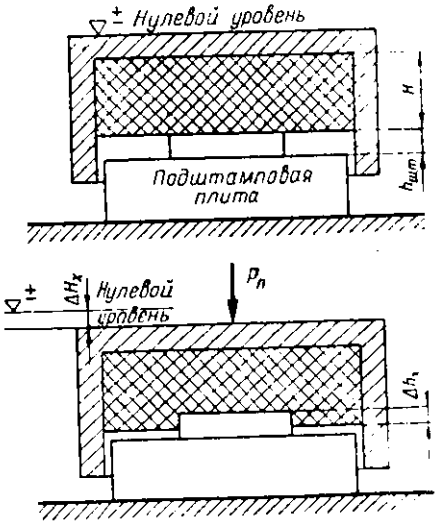


Рис. 6. Схема перемещения контейнера-пресса

$$\Delta H_x = \left(1 - \frac{F_a}{F}\right)\Delta h_x \pm \frac{\Delta V}{F}, \qquad (7)$$

где ΔH_x — величина рабочего хода контейнера в данный момент времени;

Δh_x — приведенная высота свободного объема (заполнение свободного объема по высоте) в данный момент времени;

$F_а$ — активная площадь жесткого формообразующего элемента, $см^2$;

F — рабочая площадь резиновой подушки, $см^2$;

ΔV — объем рельефов на поверхности жесткого формообразующего элемента.

При полном заполнении свободных объемов ход контейнера равен:

$$\Delta H_{макс} = \left(1 - \frac{F_а}{F}\right) h_{шт} \pm \frac{V}{F}, \qquad (8)$$

где $h_{шт}$ — высота жесткого формообразующего элемента;

V — объем рельефов на поверхности жесткого формообразующего элемента.

Величина $\frac{\Delta H_{макс}}{h_{шт}}$ удобна для оценки размеров жестких формообразующих элементов и резиновой подушки.

5. Влияние внутреннего очертания контейнера.

Внутреннее очертание контейнера существенно влияет на градиенты давлений, а также на коэффициенты использования давлений. На рис. 7 изображен клиновидный контейнер, у которого горизонтальные составляющие в зоне клина у жесткого элемента штампа будут больше, чем у обычного контейнера.

При определенных степенях сжатия резина теряет эластичность и работает как твердое тело, что может быть использовано особенно эффективно в клиновидных контейнерах.

Возможность регулировки давлений и их направления в некоторой мере допускает снижение потребного усилия прессов и расширения пределов штамповки; *для расширения пределов этого процесса необходимо иметь несколько контейнеров с различными характеристиками.* Каждый контейнер должен иметь данные по коэффициентам использования давлений в определенных рабочих зонах резиновой подушки, необходимые при расчетах операций штамповки.

Величину $Q_р$ принимают в зависимости от механических свойств штампуемого материала, толщины листа заготовки и размеров отдельных элементов штампуемой детали: высоты и радиуса борта, диаметра просекаемых отверстий и отношения глубины рельефа к ширине ее в плане.

Величина $Q_р$ может колебаться в пределах от 100 до 1000 $кГ/см^2$. В некоторых случаях давление доводят до 1200 $кГ/см^2$. Принято считать давления 300—400 $кГ/см^2$ повышенными, а свыше 400 $кГ/см^2$ — высокими.

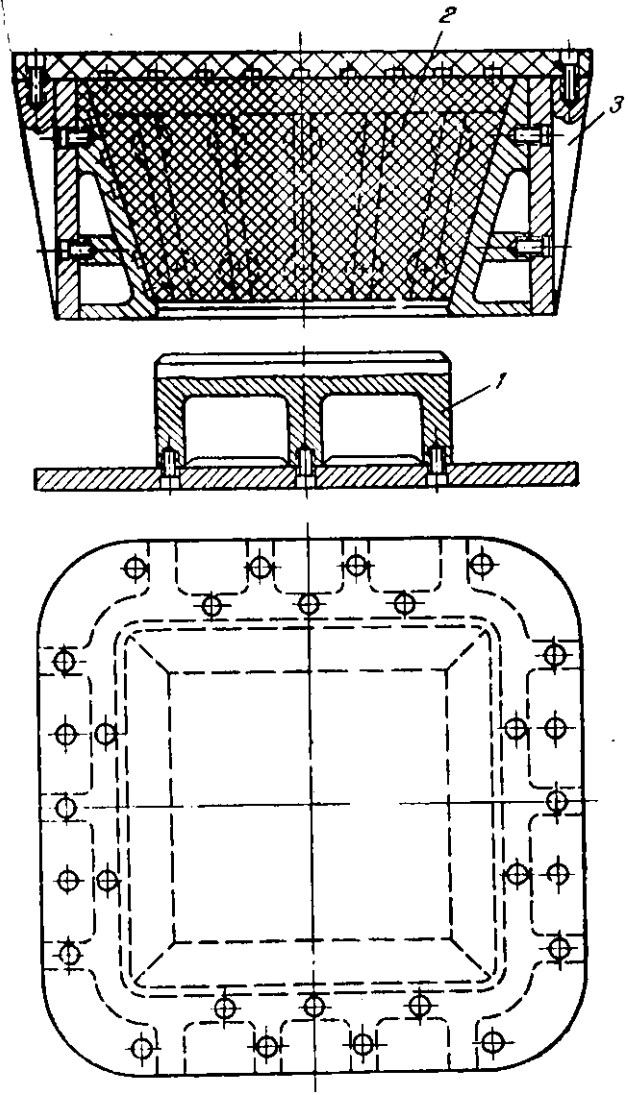


Рис. 7. Общий вид клиновидного контейнера:
1 — жесткий формообразующий элемент; *2* — резиновая подушка; *3* — контейнер.

§ 3. ПЕРИОДЫ РАБОТЫ РЕЗИНОВЫХ ПОДУШЕК

Объем контейнера в исходном положении можно разделить на четыре составляющих объема (рис. 8):

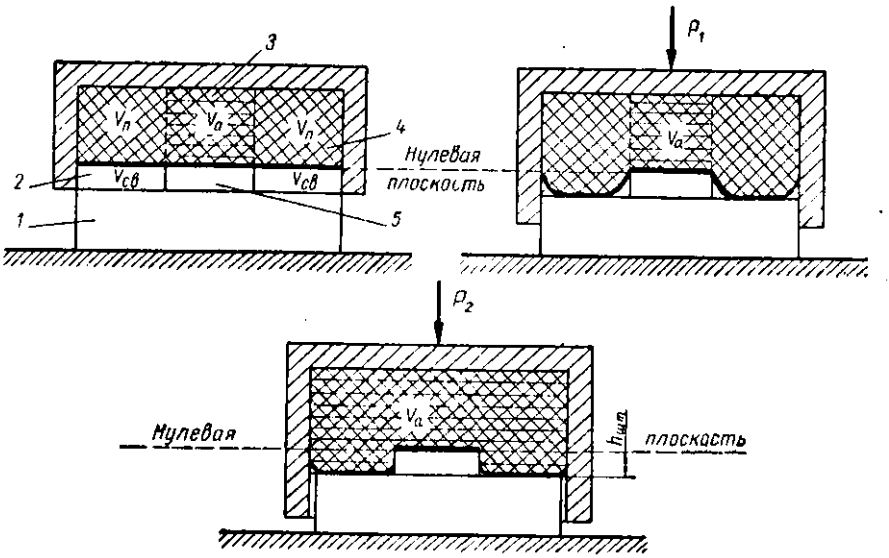


Рис. 8. Размещение объемов контейнера:

1 — подштамповая плита; *2* — свободный объем; *3* — активный объем; *4* — пассивный объем; *5* — жесткий формообразующий элемент

активный объем $V_а$ — над жестким формообразующим элементом; пассивный объем $V_п$ — над свободными объемами; свободный объем $V_{св}$, т. е. объем, заполняемый резиной в конечном положении контейнера; объем жестких формообразующих элементов $h_{шт}\,F$. Подсчитывая объем контейнера в исходном положении, получим:

$$V_0 = V_а + V_п + V_{св} + h_{шт}F_а, \qquad (9)$$

где $h_{шт}$ — высота формообразующего элемента, *см*;
$F_а$ — площадь формообразующего элемента, *см*^{2}.

Объем резиновой подушки:

$$V = V_а + V_п. \qquad (10)$$

При рабочем ходе заполняются свободные объемы путем пережимания массы резины из активного объема в пассивный и из пассивного в свободный.

Между усилием пресса и ходом контейнера существует некоторая зависимость:

$$P_{пр} = f(\Delta H), \qquad (11)$$

где $P_{пр}$ — усилие, развиваемое прессом, *кГ*;
ΔH — величина хода контейнера, *см*.

Существует три периода работы резиновых подушек: неустановившийся, переходный и установившийся (рис. 9).

Первый период — неустановившийся — соответствует заполнению свободных объемов резиной, выжимаемой из активного объема. В этот период происходит предварительное формоизменение заготовки.

Неустановившийся период заканчивается соприкосновением резиновой подушки с подштамповой плитой.

Участок кривой по индикаторной диаграмме, соответствующий рис. 9, *а*, $Q_р = f(\Delta H)$, имеет характер, близкий к линейной зависимости. Следовательно,

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dQ_р}{dH} = \text{const}, \qquad (12)$$

где α — угол наклона к оси абсцисс.

Второй период — переходный — соответствует дальнейшему заполнению свободного объема резиной и формоизменению заготовки с приближением ее к заданным формам детали (рис. 9, *б*). В переходный период на резиновую подушку начинает действовать подштамповая плита. Период заканчивается при почти полном заполнении свободных объемов.

В момент соприкосновения резиновой подушки с подштамповой плитой пассивный объем резины переходит в активное состояние, так как на него начинает действовать подштамповая плита, выжимая резину в еще не заполненные зоны свободных объемов.

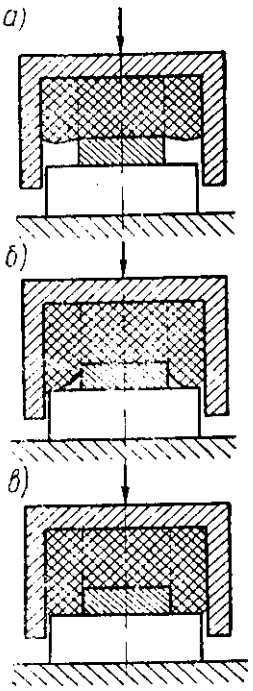


Рис. 9. Периоды работы резиновой подушки:

а—неустановившийся период; *б* — переходный период; *в* — установившийся период

Второй участок кривой характерен непрерывным возрастанием $\frac{dQ_р}{dH}$.

Третий период — установившийся — соответствует некоторому перераспределению давлений с повышением их в углах, т. е. в зонах пониженных давлений.

Третий участок кривой $Q_р = f(\Delta H)$ носит почти прямолинейный характер, т. е.

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{dQ_р}{d\Delta H} = \text{const}. \qquad (13)$$

Угол α близок к 90°. Малому ходу контейнера соответствует значительное возрастание $Q_р$ (рис. 9, *в*).

В ряде случаев рекомендуют вести процесс штамповки так, чтобы он заканчивался во второй период, при этом резиновую подушку запрессовывают и приклеивают к стенкам и дну контейнера, что резко увеличивает неустановившийся и переходный периоды. Растягивание этих периодов является предупредительной мерой от возможного затекания резины под борт детали при достижении резиновой подушкой подштамповой плиты. Окончание же процесса штамповки в переходный период исключает затекание. Однако есть более рациональные приемы исключения затекания, например установление ограничителей, подбор соотношения высоты жесткого элемента в зависимости от высоты борта и толщины резиновой подушки и др.

Доводку деталей до чертежных размеров рационально производить в третий период. Это расширяет пределы штамповки и позволяет применять резину без особенно жестких ограничений по характеристикам.

§ 4. ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ШТАМПОВКИ РЕЗИНОЙ

Методом штамповки резиной можно произвести следующие операции: вырезку по контуру; просечку отверстий; гибку бортов прямых, выпуклых и вогнутых; формовку; вытяжку.

Особенностью метода штамповки резиной является возможность совмещения ряда операций и их выполнения при помощи одного жесткого формоизменяющего элемента.

Рассмотрим процессы выполнения отдельных операций.

1. Вырезка по контуру

Для выполнения этой операции заготовка должна иметь достаточный припуск порядка 30—40 *мм*. Величина припуска зависит от механических характеристик материала и его толщины. Ввиду больших отходов, сопровождающих эту операцию, ее применяют очень редко и то при условии, что вырезка совмещена с другими операциями. На рис. 10 приведена схема процесса вырезки, который имеет ряд фаз и сводится к следующему.

Припуск *а* при воздействии резиновой подушки отжимается к подштамповой плите. Дальнейшее повышение давления приводит к образованию ступеньки, которая увеличивается с одновременным подтягиванием к основанию жесткого элемента штампа. Между припуском и подштамповой плитой образуются силы трения, которые при определенной величине

давления будут препятствовать перемещению припуска к основанию жесткого элемента штампа. Припуск заклинивается, и у режущей кромки образуется зона сложной деформации — срез с растяжением. Дальнейшее увеличение давления приводит к обрыву припуска по контуру режущего штампа.

Из схемы видно, что вырезка происходит под действием вертикальной составляющей вектора давления $P_в$, действующего нормально к поверхности припуска.

Согласно схеме,

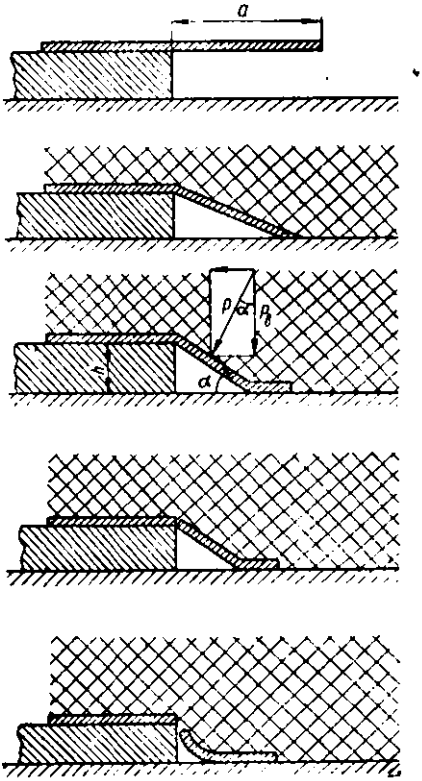


Рис. 10. Схема процесса вырезки по контуру

$$P_в = P \cdot \cos\alpha = Q_э F \cos\alpha, \qquad (14)$$

где $P_в$ — вертикальная составляющая, *кГ*;
P — усилие, действующее на припуск по нормали;
$Q_э$ — зональное давление резиновой подушки, *кГ/см²*;
F — площадь припуска, *см²*.

Анализируя выражение (14), можно сделать вывод: чем меньше угол α, тем больше вертикальная составляющая. Уменьшение угла α возможно 1) путем уменьшения высоты $h_{шт}$ пуансона, что ограничивается определенными пределами (так при $h_{шт} \leqslant 10$ *мм* и толщине металла 1,5 ÷ 2,0 *мм* происходит обжим пуансона без обрезки по контуру), за которыми вырезка не происходит; 2) путем увеличения размера a припуска, что неприемлемо, так как ведет к увеличению отходов.

Наиболее целесообразно уменьшать угол α устройством подпора (рис. 11).

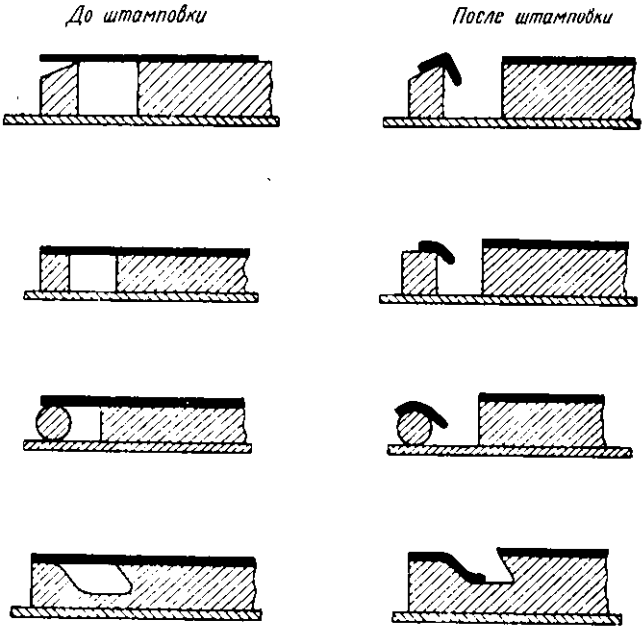


Рис. 11. Режущие штампы с подпором

При подпоре угол α может быть сведен к нулю, а припуск уменьшен до 12—15 *мм* (при толщине листа из цветных легких сплавов до 2 *мм*).

Для вырезки деталей по контуру следует применять вторую схему штамповки, т. е. групповую штамповку с резиной, работающей в качестве матрицы без прижима. При этой схеме пуансоны располагают на расстоянии 12—15 *мм*, и они являются как бы подпором друг для друга (рис. 12). Пуансоны для вырезки по контуру рекомендуется выполнять согласно данным, приведенным на схеме рис. 13. Пуансоны могут быть стальными или комбинированными из неметаллических мате-

риалов со стальной накладкой. Режущая кромка накладки с углом 90° дает возможность затачивать штамп при шлифовании по верхней плоскости при неизменности размеров контура пуансона. При остром угле заточки этой возможности не бывает.

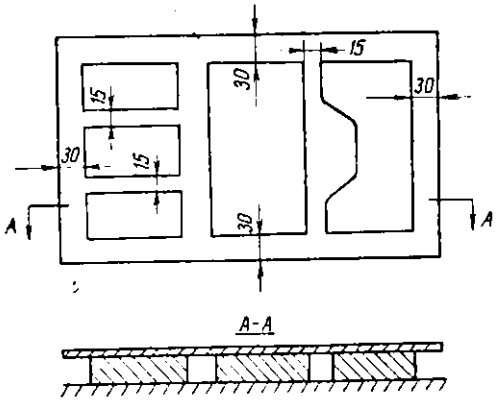


Рис. 12. Схема групповой вырезки по контуру

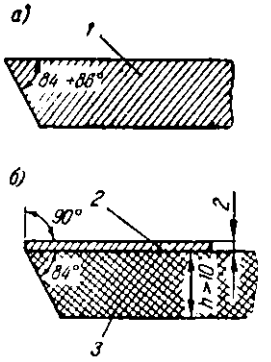


Рис. 13. Пуансоны для вырезки по контуру:

а — стальной; *б* — комбинированный; *1* — сталь; *2* — стальная накладка; *3* — текстолит

Практикой установлены следующие соотношения размеров пуансонов для вырезки деталей по контуру: 1) высота пуансона $h_{шт} = (4 \div 6) \cdot s$, но не менее 10—12 *мм*, где s — толщина заготовки; 2) величина припуска заготовки $a = (2 \div 3)\, h_{шт}$; 3) толщина резиновой подушки $H_р \geqslant (4 \div 5)\, h_{шт}$.

2. Просечка отверстий

Необходимое давление резиновой подушки для просечки отверстия зависит от механических характеристик материала, его толщины, формы и размеров выполняемого отверстия.

Из условий равенства внешних и внутренних усилий можно составить следующее уравнение:

$$\frac{\pi D^2}{4 \cdot 100} Q_р = \pi D \cdot S \sigma_в K_1 K_2, \qquad (15)$$

где D — диаметр отверстия, *мм* (рис. 14);
$Q_р$ — давление, развиваемое резиновой подушкой, *кГ/см²*;
S — толщина металла, *мм*;
σ — предел прочности, *кГ/см²*;

K_1 — коэффициент, учитывающий сложность деформации (изгиб, растяжение, срез);
K_2 — коэффициент формы.

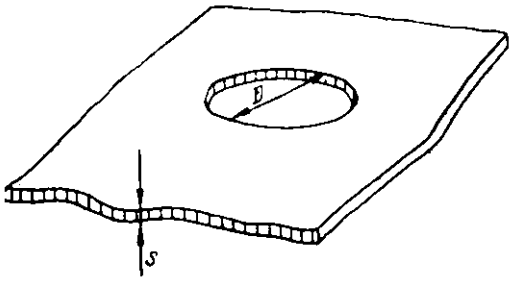


Рис. 14. Схема просечки отверстия

Откуда:

$$Q_p = \frac{400S \cdot \sigma_в}{D} K_1 K_2. \qquad (16)$$

Для отверстия произвольной формы эта зависимость примет вид:

$$Q_p = \frac{PS\sigma_в}{F} K_1 \cdot K_2, \qquad (17)$$

где P — периметр отверстия, *мм*;
F — площадь отверстия, *см*^{2}.

Следует отметить, что форма отверстия существенно влияет на величину необходимого давления Q_p. Опыт показывает, если коэффициент формы для круглого отверстия равен единице, то для квадратного — $\sim 0{,}7$, а для треугольного — $\sim 1{,}4$.

Просечку отверстий обычно совмещают с другими операциями, и она не является определяющей необходимых параметров процесса штамповки.

Соотношения (16) и (17) дают возможность определить, будет ли просечено отверстие при давлении, которое необходимо для выполнения других операций штамповки данной детали.

3. Гибка бортов

При гибке бортов применяют первую и вторую схемы штамповки. В большинстве случаев эту операцию совмещают с другими операциями по формообразованию детали.

Борты бывают трех видов: прямые, выпуклые и вогнутые (рис. 15, *а, б, в*). Кроме того, борты могут иметь различные углы отгиба, которые бывают переменными по длине борта детали.

Необходимо учитывать, что гибке бортов сопутствует отпружинивание, т. е. распрямление борта на некоторый угол α, называемый углом пружинения (рис. 16).

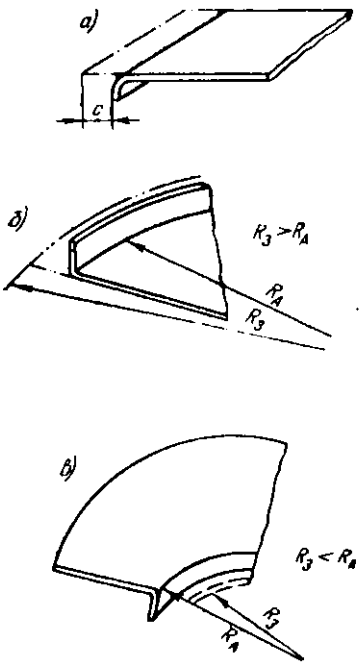


Рис. 15. Виды отгибаемых бортов у деталей

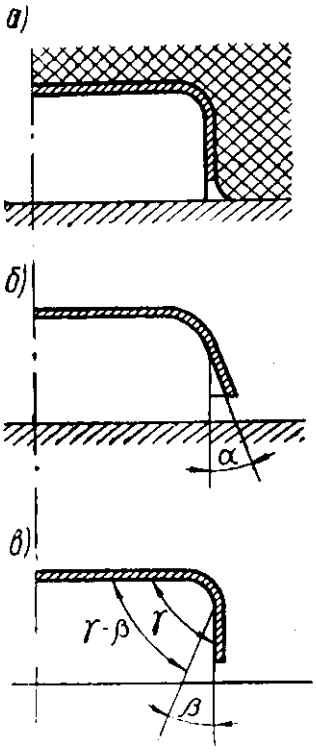


Рис. 16. Отпружинивание бортов при гибке:

а — конечный момент гибки; *б* — деталь после снятия давления; *в* — пуансон с углом поднутрения

Чтобы получить заданный угол отгиба борта, жесткие элементы штампа делают с углом поднутрения β (рис. 16), компенсирующим величину упругой деформации материала. Например, если деталь должна иметь борт под углом γ к плоскости детали, то во время гибки борту нужно придать угол $\gamma - \beta$.

Величина углов пружинения зависит от ряда факторов:

1) механических характеристик штампуемого материала;
2) толщины материала;
3) очертаний борта и радиуса контура гибки (прямой, выпуклый, вогнутый);
4) величины давления резиновой подушки $Q_р$;
5) высоты борта;
6) радиуса гибки.

Эти зависимости очень сложны и в совокупности создают условия, при которых очень трудно установить закономерности для гибки борта детали.

Существуют таблицы опытных измерений величин углов пружинения для определенных условий, которые можно найти в ряде справочников по холодной штамповке и в ведомственных руководящих технических материалах.

Для ориентировочных расчетов в табл. 2 приведены некоторые данные об углах пружинения.

Таблица 2

Средние значения углов пружинения при $Q_р = 400$ *кГ/см²*; $r_б = 3s$; $h_д = 10 + 40$ *мм*

Марка материала	Толщина материала s, *мм*	Очертания борта		
		прямое	выпуклое (R = 50÷1000 *мм*)	вогнутое (R = 50÷1000 *мм*)
Д16	0,5—2,5	1°15′—2°45′	1°—4°	2°—5°
В95	0,5—3,0	1°15′—2°45′	1°—4°	2°—5°
АМЦ	0,5—3,0	0°30′—2°35′	1°—5°	1°—3°
С20	0,5—2,0	0°30′—1°45′	—	—
1Х18Н9Т	0,5—2,0	1°15′—2°30′	—	—

При малых высотах бортов детали гибка может не произойти, так как изгибающий момент для образования борта будет недостаточен. При этом возможно также обтекание бортов резиной.

Минимальный изгибающий момент, потребный для формования борта, подсчитывают по соотношению (18):

$$M = Q_р F \frac{h_д}{2}, \qquad (18)$$

где M — изгибающий момент, *кГ · см*;
$Q_р$ — давление резиновой подушки, *кГ/см²*;
F — площадь борта, *см²*;
$h_д$ — высота борта, *см*.

В табл. 3 даны минимальные высоты бортов в зависимости от толщины металла.

Таблица 3

Минимальные высоты бортов в зависимости от толщины металла (дуралюмина)

Толщина металла s, *мм*	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Минимальная высота борта, *мм*	3,6	4,0	4,4	4,7	5,0	5,4	5,7	6,0	6,5

При выпуклых бортах радиус заготовки больше радиуса детали на высоту борта. Наибольшая степень деформации кромки борта (его относительное укорочение) равна:

$$E'_{\text{макс}} = \frac{\pi R_з - \pi R_д}{\pi R_з} = \frac{\pi (R_д + h_д) - \pi R_д}{\pi (R_д + h_д)} = \frac{h_д}{R_д + h_д}, \qquad (19)$$

где $E'_{\text{макс}}$ — относительная степень деформации борта (укорочение);

$R_з$ — радиус заготовки;

$R_д$ — радиус детали (см. рис. 15);

$h_д$ — высота борта.

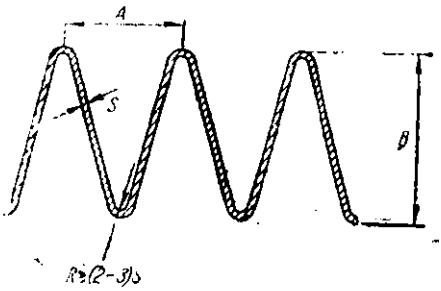


Рис. 17. Высокий гофр

При определенных условиях сжимающие напряжения могут достигнуть величины, при которой наступит потеря устойчивости борта и возникнут гофры.

Различают гофры нормальные и высокие; у последних высота больше ширины, т. е. $B > A$ (рис. 17). Высокие гофры недопустимы, так как при них возможно образование трещин в вершине гофра.

Критерием, определяющим деформацию бортов (в целях упрощения), принимают отношение:

$$\frac{R_д}{R_з}. \qquad (20)$$

Установлено, что при соотношениях $\frac{R_д}{R_з} > 0{,}97$,

при толщине листа до 2,5 *мм* для сплавов алюминия гофрообразования не происходит. При меньших соотношениях $\frac{R_д}{R_э}$ появляются гофры. В табл. 4 приведены соотношения $\frac{R_д}{R_э}$, при которых гофры будут иметь нормальную величину.

Таблица 4

Зависимость соотношения $\frac{R_д}{R_э}$ от s

Толщина металла s, *мм*	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
Значение $\frac{R_д}{R_э}$	$>0,9$	$>0,84$	$>0,8$	$>0,77$	$>0,76$

В ряде справочников по штамповке критерием, определяющим степень деформации бортов без гофрообразования, принято отношение высоты борта к наименьшему радиусу детали в плане, т. е.

$$K_д = \frac{h_д}{R_д}. \qquad (21)$$

Значения $K_д$ в зависимости от марки металла и его толщины приведены в таблицах этих справочников.

Если конструктивные размеры детали приводят при штамповке к образованию «нормальных» гофров, то последние можно устранить вручную при помощи оправки и молотка. Однако это весьма трудоемкая операция.

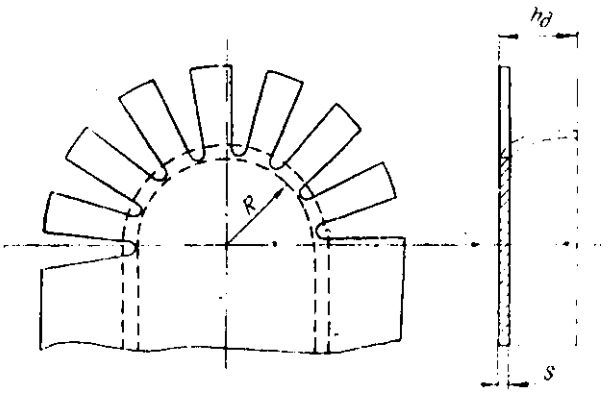


Рис. 18. Заготовка детали с вырезанными фестонами

Существуют три способа, исключающие необходимость ручной доводки детали. Одним из них является вырезка фестонов (рис. 18). Однако при этом борт детали значительно ослабляется.

Второй способ — формовка гофров во внутреннюю сторону на пуансоне, имеющем в вертикальной стенке углубления (рис. 19).

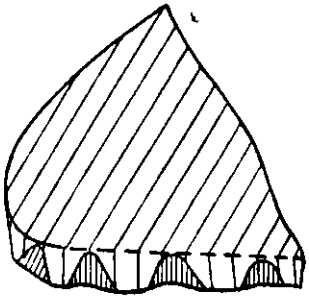


Рис. 19. Пуансон для формовки бортов с обратной запрессовкой гофров

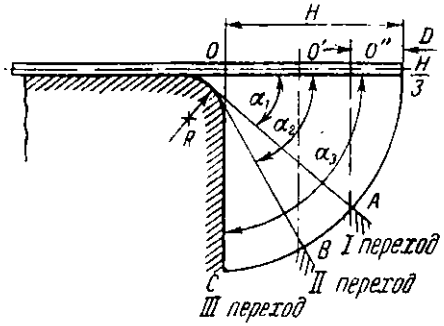


Рис. 20. Графический расчет углов для пуансонов при многопереходной гибке выпуклого борта детали

При штамповке с таким пуансоном на борте детали создается ряд жестких фестонов, которые не препятствуют сборке деталей. Поверхность борта сопрягается с обшивкой, а заклепочные или сварные точки устанавливают в местах, не имеющих углублений.

Штамповка без ручной доводки при давлении 400 *кГ/см*^{2} возможна для дуралюмина при толщине до 2,5 *мм* и для сталей марок С20, 12Г2А, 1Х18Н9Т — толщиной до 1,2 *мм*.

Количество фестонов n не зависит от радиуса борта и может быть определено по формуле:

$$n = 0{,}045\gamma, \qquad (22)$$

где γ — угол охвата выпуклого борта.

Наименьший шаг между осями фестонов должен быть не менее 1,1 $h_д$, где $h_д$ — высота борта детали.

Третьим способом является многопереходная штамповка на нескольких пуансонах с промежуточным отжигом. Угол каждого паунсона по переходам определяют графически (рис. 20). Высоту борта детали делят на равные участки числом, равным числу переходов. Из точки O радиусом, равным высоте борта, проводят дугу. Из точек раздела участков борта восстанавливают к последнему нормали. Лучи, проведенные

из точки O в точки пересечения дуги с нормалями, определяют углы пуансонов по переходам.

При гибке вогнутого борта радиус заготовки меньше радиуса детали на высоту борта (см. рис. 15, *в*).

Аналогично предыдущему наибольшая степень деформации кромки борта (его относительное удлинение) будет равна:

$$E''_{\text{макс}} = \frac{h_д}{R_д - h_д}, \qquad (23)$$

где $E''_{\text{макс}}$ — относительная степень деформации борта (удлинение).

Остальные обозначения те же, что в формуле (19).

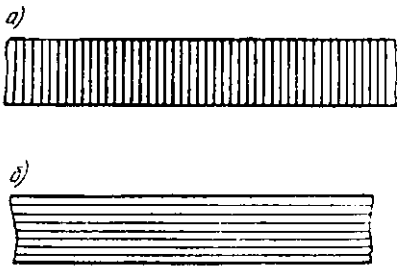


Рис. 21. Риски на кромках заготовок в зависимости от способа получения заготовки:

а — заготовка с вырезанными кромками; *б* — заготовка с фрезерованными кромками

Если заготовку детали вырезать ножницами или пуансонами, то на кромках ее образуются поперечные риски (рис. 21, *а*), причем кромка детали будет иметь некоторый наклеп. Поперечные риски являются концентраторами напряжений, и при относительно небольшом удлинении кромки (порядка 5%) на борте детали возникнут трещины. Снятие наклепа путем отжига может обеспечить несколько большее удлинение кромки, однако включение в технологический процесс термической операции нежелательно. Повышение пределов допустимого удлинения кромки возможно путем ее фрезерования. При фрезеровании кромок заготовки риски будут иметь продольное направление (рис. 21, *б*). Удлинение кромок с продольными рисками без тре-

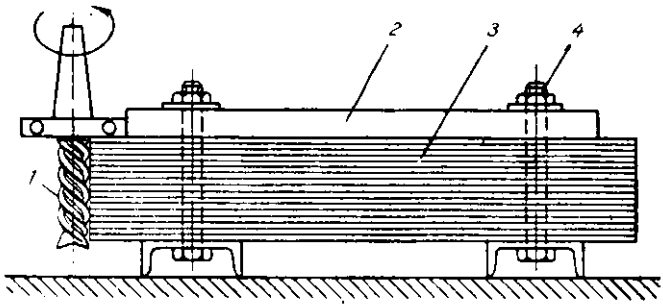


Рис. 22. Схема фрезерования пачки заготовок деталей:
1 — фреза; *2* — копир; *3* — пачка заготовок; *4* — болты, скрепляющие пачку заготовок

щинообразования может достигать значений, близких к относительному удлинению. Обычно кромки заготовок фрезеруют в пачках по копиру пальчиковой фрезой (рис. 22).

Так же, как и в предыдущем случае (выпуклые борты), в ряде справочников по холодной штамповке критерием, определяющим допустимую степень деформации кромок без образования трещин, принято отношение высоты борта к наименьшему радиусу детали в плане, т. е.

$$K_д = \frac{h_д}{R_д}.$$

Высоту пуансона для гибки бортов определяют из соотношения:

$$h_{шт} = h_д + \Delta h_{шт}, \qquad (24)$$

где $h_{шт}$ — высота пуансона, *мм*;
$h_д$ — высота детали, *мм*;
$\Delta h_{шт}$ — припуск на высоту пуансона.
Величину припуска принимают по табл. 5.

Таблица 5

Величины припусков на высоту пуансонов в зависимости от конфигурации борта

Конфигурация борта	Величина $\Delta h_{шт}$, *мм*
Выпуклые и вогнутые борта с радиусом в плане менее 200 *мм*	$\geqslant 15$
То же при радиусе в плане более 200 *мм*	$\geqslant 10$
Прямолинейные борта	$\geqslant 10$

Потребные давления $Q_р$ для формовки прямых бортов деталей из дуралюмина определяют по графику, приведенному на рис. 23, в зависимости от толщины металла s *мм* и высоты борта $h_д$, а для выпуклых бортов — по номограмме, которая дана на рис. 24.

Пользование графиком не вызывает трудностей. Порядок пользования номограммой следующий: находят точку, соответствующую толщине материала детали по шкале s. Из этой точки проводят два луча: один — в точку, соответствующую радиусу борта $R_б$, и другой — в точку, соответствующую высоте борта. Эти точки выбирают по соответствующим шкалам.

Точки пересечения первого и второго лучей соответственно со шкалами q_1 и q_2 дадут слагаемые необходимого давления для штамповки данного борта.

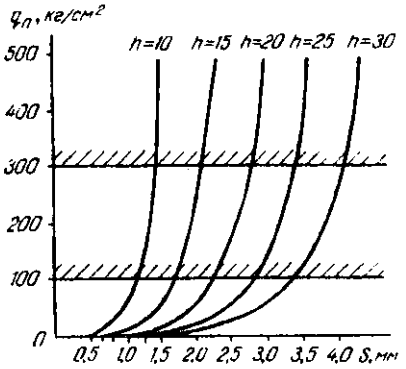


Рис. 23. График для определения потребных давлений резиновой подушки при штамповке прямолинейных бортов резиной (материал Д16М)

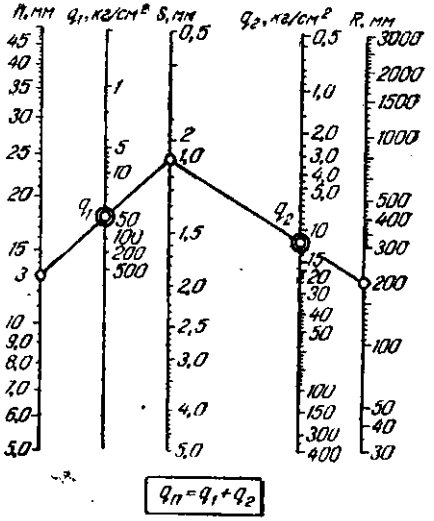


Рис. 24. Номограмма для определения потребных давлений резиновой подушки при штамповке выпуклых бортов резиной (материал Д16М)

4. Формовка

К разновидностям формовки резиной можно отнести штамповку полупатрубков, отбортовок и подсечек.

Штамповка полупатрубков

Штамповка полупатрубков возможна по двум схемам — при резиновой подушке, работающей в качестве матрицы или в качестве пуансона.

При штамповке полупатрубков по первой схеме контуры пуансона должны соответствовать внутренним контурам штампуемого полупатрубка. Высота пуансона должна быть несколько больше высоты полупатрубка (рис. 25). Пуансон должен иметь установочные шпильки диаметром 5 *мм* для фиксации заготовки. Если в детали нельзя выполнять отверстий, то для нее предусматривают припуск, на котором делают установочные отверстия, после штамповки его обрезают. Припуск на обрезку по борту $П$ принимают равным для выпуклых кон-

туров 2—3 *мм* и для вогнутых — 5—10 *мм*. Вторая схема штамповки полупатрубков требует жесткой матрицы с контуром, соответствующим наружному контуру полупатрубка.

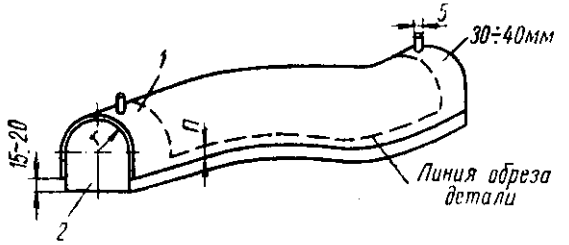


Рис. 25. Схема штамповки патрубка при резине, работающей в качестве матрицы:

1 — деталь; *2* — пуансон

При сложной пространственной форме полупатрубка, когда его формообразование сопровождается элементами вытяжки, применяют ударную штамповку резиной (см. главу III).

Штамповка отбортовок отверстий

Отбортовки бывают различных очертаний (рис. 26). Типоразмеры отбортовок нормализованы (например, 13СТ50, 14СТ50, 160СТ53 и др.).

Операция отбортовки отверстия по своей сущности близка к гибке вогнутого борта. При отбортовке отверстия его кромка также будет испытывать растягивающие напряжения, которые могут привести к образованию трещин. Для предотвращения трещинообразования, зависящего от состояния кромки (поперечные или продольные риски, шлифованная кромка и т. п.), принимают следующие меры: 1) уменьшают длину кромки путем отбортовки отверстия на угол 60°; по сравнению с отбортовкой на угол (рис. 26, *а*) 90°, это дает удлинение кромок, в 2 раза меньшее (рис. 26, *б*); 2) выводят кромки из зоны максимального удлинения (рис. 26, *г*); 3) не делают отверстий для облегчения (рис. 26, *в* и *д*), такая отбортовка называется глухой.

Отбортовки можно штамповать при прямом воздействии резиновой подушки на заготовку детали или через накладку (рис. 27). Накладки применяют в случаях, когда давление резиновой подушки недостаточно. Усилие штамповки отбортовки при применении накладок равно площади контакта накладки с резиновой подушкой на давление, развиваемое резиновой подушкой, т. е.

$$P_н = F_н Q_р, \qquad (25)$$

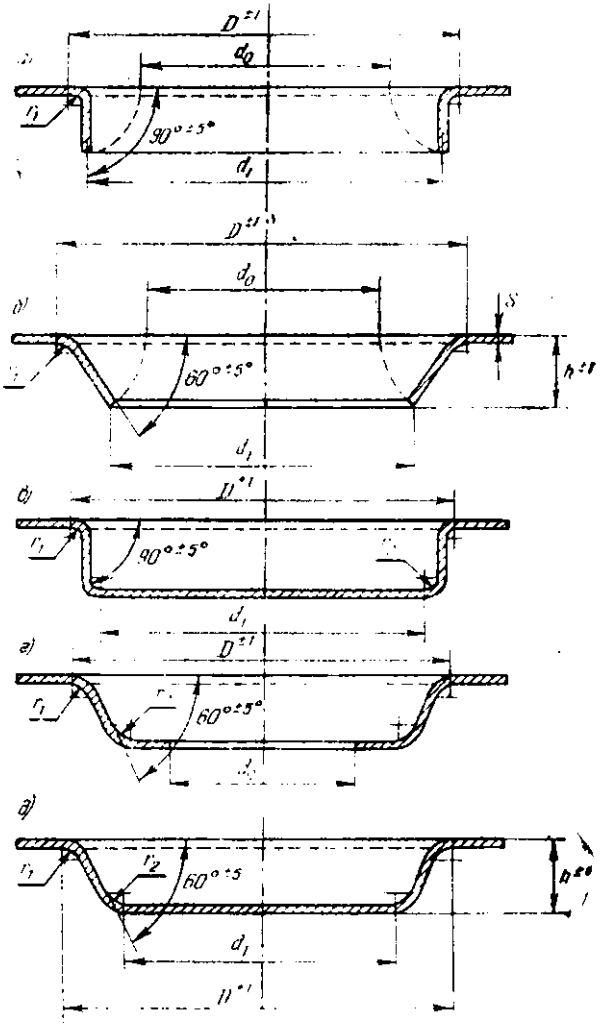


Рис. 26. Схемы отбортовок отверстий

где $P_н$ — усилие штамповки, *кГ*;
$F_н$ — активная площадь накладки, *см²*;
$Q_р$ — давление, развиваемое резиновой подушкой, *кГ*.

Площадь контакта накладки $F_н$ можно изменять и этим регулировать в некоторых пределах усилие штамповки. Штампуемость отбортовок типа, приведенного на рис. 26, *а*, в

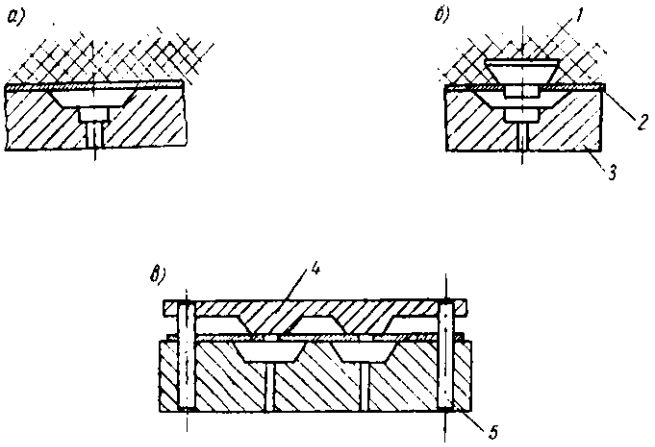


Рис. 27. Схемы штамповки отбортовок:

а — прямое воздействие резиновой подушки; *б* — воздействие резиновой подушки через накладку; *в* — то же, но с групповой накладкой, базируемой по шпилькам; *1* — накладка; *2* — заготовка; *3* — матрица; *4* — групповая накладка; *5* — шпилька

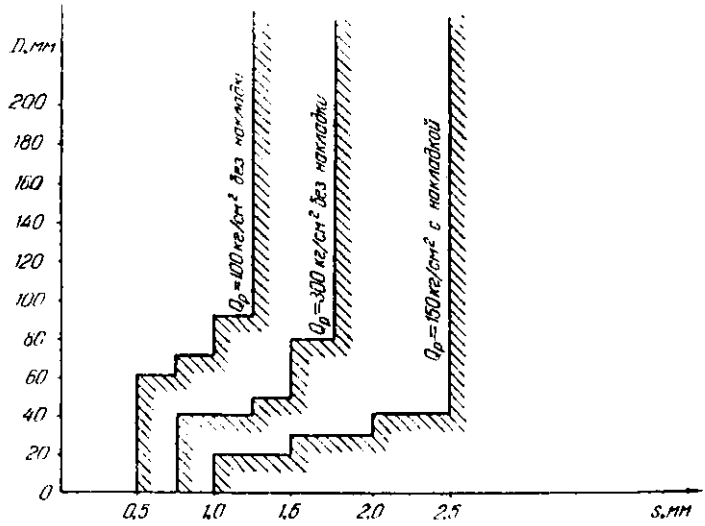


Рис. 28. График штампуемости отбортовок отверстий в зависимости от толщины металла и давления, развиваемого резиновой подушкой

зависимости от толщины материала и диаметра отбортовки определяют по графику, построенному для дуралюмина (рис. 28).

Степень формоизменения при отбортовке определяют коэффициентом отбортовки. Для дуралюмина в отожженном и свежезакаленном состояниях коэффициент отбортовки должен быть не более $K \leqslant 1{,}5$.

Для сталей рекомендуется применять накладки при толщинах заготовок свыше $s \geqslant 1{,}2$ *мм*. Эта же рекомендация может быть дана для отбортовок, показанных на рис. 26, *в*, *г*, *д*.

Штамповка подсечек

При соединении деталей внахлестку, при необходимости соблюдения плавного контура, в одной из деталей делают углубление на толщину второй детали. Такое углубление называют подсечкой.

Иногда подсечки делают в бортах деталей. Их называют боковыми. Такие подсечки формуют обычно одновременно со штамповкой.

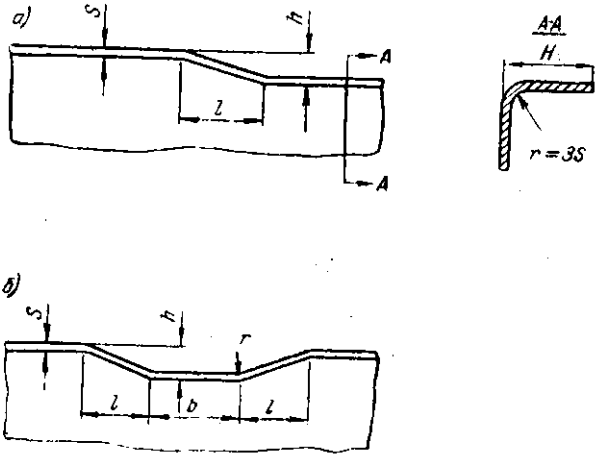


Рис. 29. Подсечки

Различают два вида подсечек: концевые и серединные (рис. 29, *а* и *б*). Необходимое давление для штамповки подсечек зависит от механических свойств металла и геометрических размеров подсечек. Примерную его величину можно определить по формуле:

$$Q_{\text{п}} = \frac{\sigma_{\text{в}}\, sh}{2rl}, \qquad (26,$$

где $Q_{\text{п}}$ — потребное давление для подсечки, *кГ*;

$\sigma_{\text{в}}$ — сопротивление разрыву, *кГ/мм²*;

s — толщина металла, *мм*;
h — глубина подсечки, *мм*;
r — радиус сопряжения, *мм*;
l — длина подсечки, *мм*.

Пример: $\sigma = 30$ *кГ/мм*^{2}; $h = 2$ *мм*; $r = 3$ *мм*; $s = 2$ *мм*; $l = 8$ *мм*;

$$Q = \frac{30 \cdot 2 \cdot 2}{2 \cdot 3 \cdot 8} = 2{,}5 \text{ кГ/мм}^2 = 250 \text{ кГ/см}^2.$$

Чем толще материал и выше борт детали, тем труднее штамповка подсечки и тем большее необходимо давление. В ряде случаев одновременная штамповка подсечек и бортов невозможна, поэтому приходится применять накладки (рис. 30).

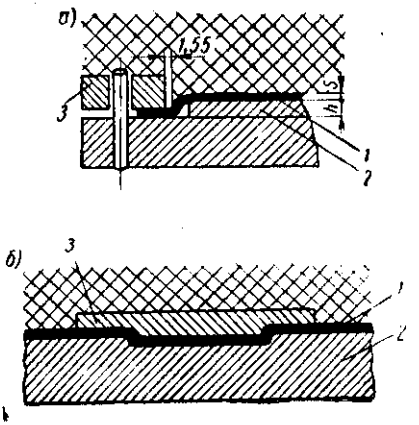


Рис. 30. Штамповка подсечек при помощи накладок:
а — концевой подсечки; *б* — серединной подсечки; *1* — заготовка; *2* — жесткий элемент штампа; *3* — накладка

5. Вытяжка

Операцию вытяжки можно выполнять по различным схемам: 1) с резиной, работающей в качестве пуансона без прижима;

2) с резиной, работающей в качестве пуансона с прижимом;

3) с резиной, работающей в качестве матрицы с прижимом. При схемах с прижимом в зависимости от усилия прижима возможна вытяжка с перемещением фланца детали (рис. 31, *а*) и без его перемещения (рис. 31, *б*).

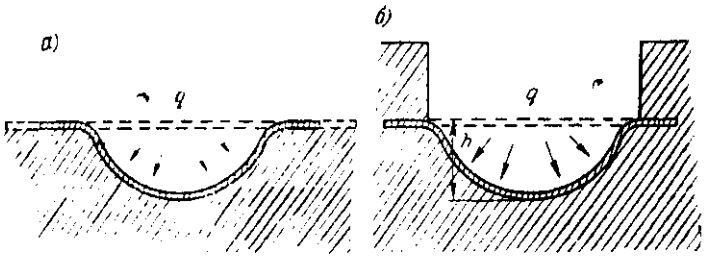


Рис. 31. Схема вытяжки с резиной, работающей в качестве пуансона:
а — без прижима; *б* — с прижимом

В зависимости от геометрии детали, толщины и марки металла рационально применять ту или иную схему. Руководствуются при этом следующими основными положениями. При неглубокой вытяжке, когда высота детали не достигает минимального ее размера в плане, могут быть применены схемы без прижима. При глубокой вытяжке используют схему с прижимом и с резиной, работающей в качестве матрицы. Следует также учитывать, что при схемах с перемещением фланца утонение металла будет меньше, чем при вытяжке без перемещения фланца.

Вытяжку резиной, работающей в качестве пуансона, рационально применять при штамповке деталей, имеющих относительно малые габариты формоизменяемого рельефа, определяемые критерием $K_р$, характеризующим отношение толщины материала заготовки детали к минимальному радиусу кривизны штампуемого рельефа, т. е.

$$K_р = \frac{s}{R_{мин}}. \qquad (27)$$

Это соотношение должно находиться в определенных пределах:

для сталей (С20, 1Х18Н9Т):

$$\frac{1}{60} < \frac{s}{R_{мин}} < \frac{1}{40};$$

для дуралюмина:

$$\frac{1}{80} < \frac{s}{R_{мин}} < \frac{1}{20}.$$

Пределы штампуемости материала определяются несколькими критериями. Критерием $K_ш$ характеризуется степень формоизменения. Этот критерий при неглубокой вытяжке является соотношением максимальной глубины штампуемой детали $h_{макс}$ к наименьшему линейному размеру в плане $L_{мин}$ (рис. 32), т. е.

$$K_ш = \frac{h_{макс}}{L_{мин}} \leqslant 0{,}25 \div 0{,}35. \qquad (28)$$

Значения $K_ш$ для схем с прижимом при неподвижном фланце принимают в этих же пределах, причем меньшие значения — для мягких материалов, большие — для твердых.

При схемах с перемещением фланцев (детали типа патрубков) $K_ш$ принимают равным 0,6.

Критерием $K_в$, характеризующим допустимую степень формоизменения при глубокой вытяжке цилиндрических деталей из

листовых заготовок, является отношение диаметра заготовки к диаметру изготовляемой детали:

$$K_в = \frac{D_0}{d} \leqslant 1{,}5 \div 1{,}65, \tag{29}$$

где D_0 — диаметр заготовки;
d — диаметр детали.

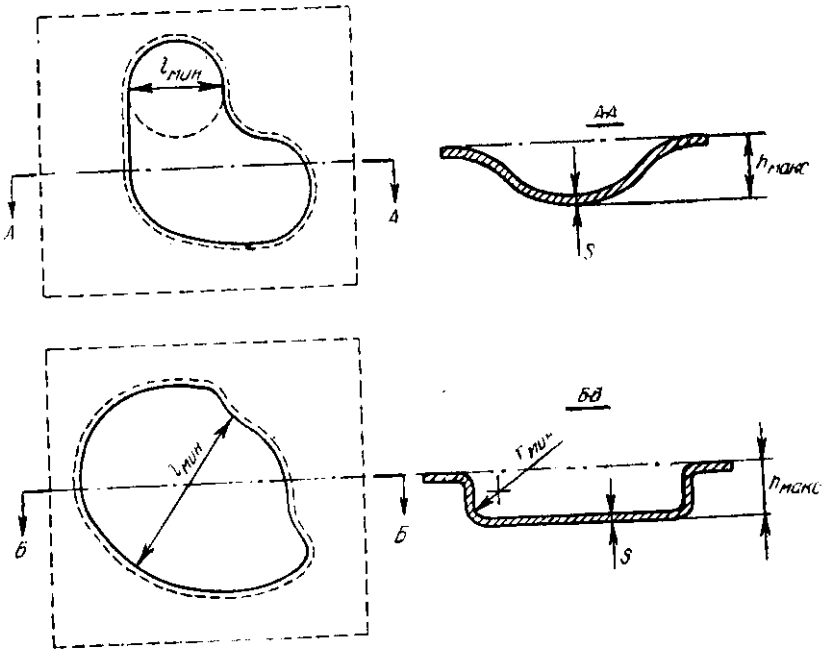


Рис. 32. Схемы деталей с элементами неглубокой вытяжки

При завышении коэффициентов $K_ш$ и $K_в$ возможно недопустимое утонение стенок и гофрообразование.

Для схемы без перемещения фланца потребное давление, развиваемое резиновой подушкой, определяют по формуле:

$$Q_р = 3{,}2\sigma_в \frac{s}{L_{мин}}. \tag{30}$$

Наименьшие радиусы рельефа детали (сопряжение дна и стенки), которые можно получить при схеме с перемещением фланца, определяют по формуле:

$$r_{мин} = \sigma_в \frac{s}{Q_р}. \tag{31}$$

При штамповке рельефа типа рифта следует учитывать некоторую специфику (рис. 33).

Критерием $K_ж$ степени формообразования рифтов для материалов толщиной 0,5—2,0 *мм* служит отношение глубины рифта $h_{макс}$ к его ширине:

$$K_ж = \frac{h_{макс}}{A} \leqslant 0{,}4 - 0{,}5, \qquad (32)$$

где $h_{макс}$ — глубина рифта;
A — ширина рифта.

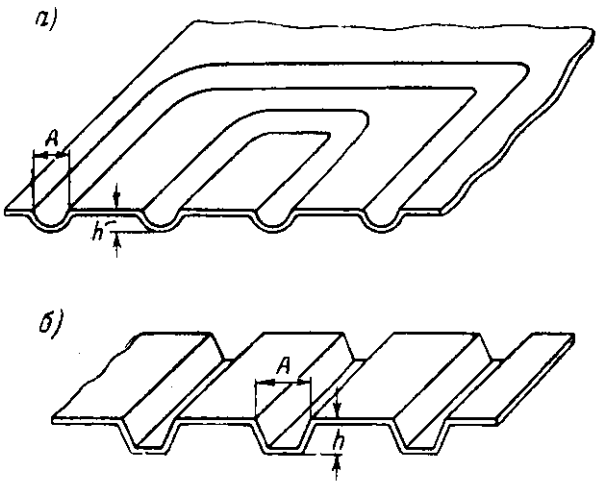


Рис. 33. Рифты:
а — овальный; *б* — трапецевидный

При больших соотношениях $K_ж$ штамповку рифтов необходимо вести в два перехода. При первом переходе с целью уменьшения степени формоизменения применяют резиновую прокладку между заготовкой и матрицей. Перед вторым переходом необходим отжиг детали.

Штамповку деталей типа обтекателей и неглубоких днищ, если необходимо, проводят в два-три перехода с применением резиновых прокладок и промежуточных отжигов.

Штамповка деталей типа полупатрубков вытяжкой также требует учета некоторой специфики.

Величину необходимого давления для штамповки полупатрубка (рис. 34) определяют по формуле:

$$Q = 4{,}0\sigma_в \frac{s}{R_п} \; кГ/см^2, \qquad (33)$$

а ширину заготовки — по формуле:

$$B = 2\pi + 3{,}14\,(r_м + R_п + s). \qquad (34)$$

Штамповку полупатрубков ведут в два перехода: при первом переходе применяют прокладку из резинового листа, а второй переход является калибрующим.

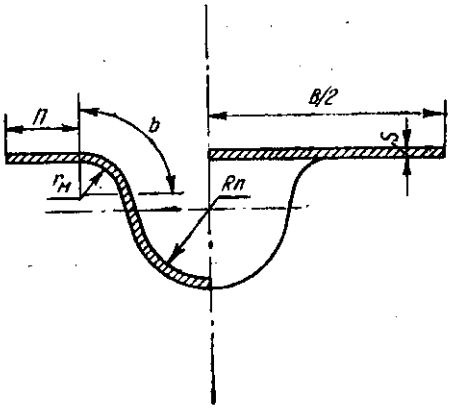


Рис. 34. Схема вытяжки полупатрубка

Вытяжку резиной, работающей в качестве матрицы при жестком пуансоне с прижимом, применяют при формообразовании деталей с замкнутым контуром, имеющих элементы глубокой вытяжки. На рис. 35 представлены схемы типовых деталей, штампуемых этим методом.

Сущность процесса вытяжки резиновой матрицей при жестком пуансоне с прижимом заключается в следующем (рис. 36): листовую заготовку располагают между прижимом и резиновой подушкой (матрицей), заключенной в контейнер; жесткий пуансон с контуром, соответствующим внутреннему обводу детали, вжимается в резиновую подушку при одновременном прижиме к ней фланцев заготовки.

Возможны два варианта этой схемы. По первому варианту процесс протекает при неподвижном прижиме за счет вдавливания пуансона в матрицу при соответствующем перемещении контейнера. При втором варианте пуансон неподвижен, а прижим опускается.

Этот способ вытяжки применим к деталям из сплавов алюминия и из сталей (малоуглеродистых и нержавеющих), при этом степень формоизменения по сравнению с вытяжкой в стальных инструментальных штампах может быть на 20—30% больше.

Утонение металла при вытяжке резиновым пуансоном существенно уменьшается, поскольку почти нет трения между заготовкой и резиновым пуансоном.

Степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей определяется коэффициентом вытяжки m_0, который равен:

$$m_0 = \frac{d}{D_0}, \qquad (35)$$

где d — диаметр детали;
D_0 — диаметр заготовки.

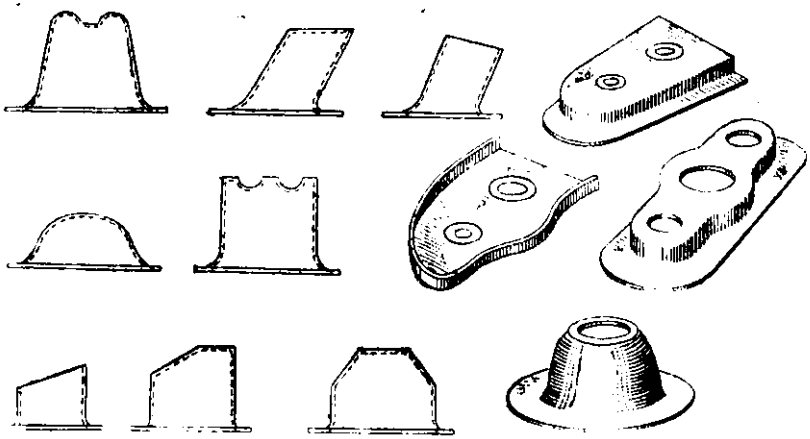


Рис. 35. Типовые детали, штампуемые резиной, работающей в качестве матрицы при жестком пуансоне с прижимом

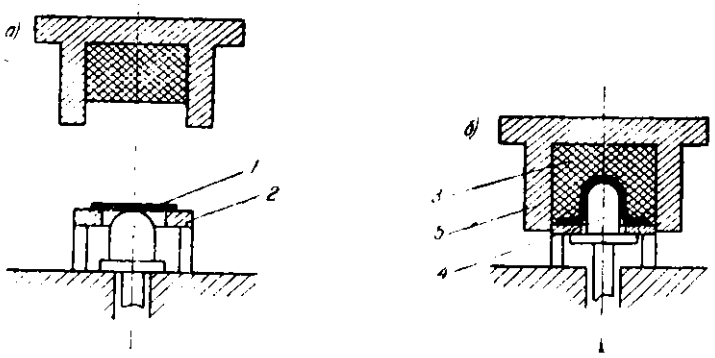


Рис. 36. Схема штамповки резиновой матрицей при жестком пуансоне с прижимом:

а — до штамповки; *б* — после штамповки; *1* — листовая заготовка; *2* — прижим; *3* — резиновая подушка; *4* — пуансон; *5* — контейнер

Чем меньше по величине коэффициент m, тем больше степень деформации. Поэтому коэффициент вытяжки служит показателем интенсивности процесса формоизменения.

Для каждого материала опытным путем определен предельный коэффициент вытяжки, позволяющий рассчитывать диаметр детали, которую можно вытянуть из данной заготовки. Если вытяжка детали требует коэффициент, значение ко-

торого меньше предельного, то вытяжку производят в два или несколько переходов.

Для второго и последующих переходов коэффициент вытяжки представляет отношение последующего диаметра к предыдущему, т. е.

$$m_1 = \frac{d_1}{d};\ m_2 = \frac{d_2}{d_1},\ \ldots,\ m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}.$$

Подбор коэффициента вытяжки и диаметров по переходам ведут по соотношениям:

$$m = m_1 \cdot m_2 \ldots m_{n-1} \cdot m_n = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \frac{d_4}{d_3} \ldots \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{d_{n-1}},$$

где m_1, m_2, m_3... m_n — коэффициенты вытяжки по переходам;

$d_1, d_2, \ldots, d_{n-1}, d_n$ — внешние диаметры по переходам.

Численные значения коэффициентов вытяжки находят по справочникам в зависимости от материала детали. Следует отметить, что для первого перехода коэффициент вытяжки численно меньше, чем для последующих. Между переходами применяют термическую операцию для придания материалу пластичности.

Для деталей прямоугольной формы коэффициенты вытяжки зависят от длины прямолинейного участка грани как функции радиуса сопряжения прямолинейных участков. На рис. 37 приведен график этой зависимости.

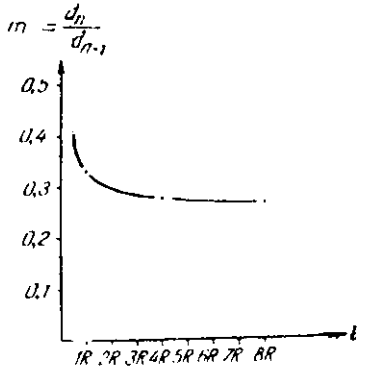


Рис. 37. График зависимости коэффициента вытяжки как функции прямолинейного участка и радиуса сопряжения

Допустимые коэффициенты вытяжки при штамповке резиной дают возможность штамповать детали сложной формы за один переход, в то время как при других методах штамповки количество переходов будет много больше. В этом существе[illegible] преимущество метода ш[illegible]вки резиной.

Для алюминиевых сплавов рекомендуются давления резиновой матрицы от 0 до 300—400 *кГ/см²*, а для сталей (С20; 1Х18Н9Т) — от нуля до 700—1200 *кГ/см²*. Конечное давление зависит от коэффициента вытяжки, толщины штампуемого металла и радиуса сопряжения вертикальной стенки детали с фланцем.

Для получения хороших результатов режим изменения давлений должен протекать по определенному закону. Если нарастание давления резины относительно хода пуансона будет замедленным, то возможно гофрообразование и, наоборот, при избыточном давлении в зависимости от хода пуансона возможен прорыв материала. Это объясняется тем, что давление со стороны резины определяет усилие прижима, а относительный ход пуансона — степень формоизменения.

Таким образом, при вытяжке резиновой матрицей при жестком пуансоне с прижимом давление последнего переменно и непрерывно возрастает, что при отсутствии трения между заготовкой и матрицей дает возможность увеличить степень формоизменения (увеличения степени вытяжки и уменьшения коэффициента вытяжки) по сравнению с вытяжкой другими методами.

Выбор величины давления и скорости его нарастания в зависимости от хода пуансона делают по номограммам и таблицам, приведенным в соответствующих справочниках по холодной штамповке.

§ 5. СОРТА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПОДУШЕК

Резиновые подушки могут быть монолитными и склеенными из листов резины. Производство монолитных резиновых подушек требует пресс-форм, изготовление которых представляет известные трудности. Вторым их недостатком является необходимость периодического снятия путем фрезерования поверхности рабочего слоя резиновой подушки, соприкасающегося со штампуемыми изделиями. Этот слой изнашивается, и в напряженных зонах резина выкрашивается. Периодическое фрезерование уменьшает толщину резиновой подушки, и поэтому возникает необходимость в подклейке листовой резины к отфрезерованной ее поверхности.

В последнее время применяют клееные резиновые подушки, состоящие из резиновых листов толщиной 30—60 *мм*. Клееная резиновая подушка, в зависимости от назначения, может состоять из резины различных сортов. Например, при штамповке материалов, допускающих формоизменение в подогретом состоянии, рабочий слой резины, подвергающийся воздействию высоких температур от нагретой заготовки, делают из термостойких дорогостоящих сортов резины, а основная масса резиновой подушки склеивается из листов резины, обладающих характеристиками, соответствующими данным условиям формоизменения.

Существует большое количество сортов резины, обладающих различными механическими характеристиками.

В табл. 6 приведены наиболее часто применяемые сорта резины, соответствующие ТУМХП 1166—51 р.

Таблица 6

Марки резин и их характеристики

Марка резины	Тип каучука	Твердость по Шору	Относительное удлинение, % (не менее)	Сопротивление разрыву, *кГ/см²* (не менее)	Остаточное удлинение, % (не более)	Модуль эластичности	Удельный вес, *г/см³*	Примечание
4004	СКН	75—90	200	100	20	—	1,25	Резина твердая
2462	НК	65—80	300	100	30	35,6	1,40	
3703	—	65—80	350	160	35	—	1,2	
3826	СКН	65—75	300	80	20	41,62	1,35	
2961	—	50—65	450	80	25	—	1,36	
2651	—	50—65	300	45	15	—	1,23	
5168	СКБ	50—65	200	35	—	—	1,26	
922		50—65	300	45	35	—	1,14	Резина средней твердости
2651	СКБ	45—60	300	50		—	1,13	
56	НК	45—60	450	100	28	17,1	1,41	
1432	—	40—50	350	40	30	—	1,09	Резина мягкая
ВИАМ-2	—	35—50	600	170	26	—	—	
2005	—	35—50	400	35	30	—	1,11	
1847	—	35—45	600	160	15	—	—	
3311	—	30—40	700	150	25	3,55	—	

Основными характеристиками резины являются твердость и относительное удлинение.

Различают резину твердую, средней твердости и мягкую. С повышением твердости относительное удлинение ее уменьшается.

Выбор марки резины зависит от применяемой схемы штамповки и геометрии штампуемой детали. При выборе следует руководствоваться степенью деформирования резиновой подушки при штамповке, отношением высоты отдельных элементов штампуемых деталей к их размерам в плане и механическими характеристиками штампуемого металла.

Применение мягкой резины при штамповке по первой и второй схемам ограничивается «затеканием» резины под борты. Однако возможно создание комбинированных резиновых подушек, основная масса которых состоит из резины мягкой или средней твердости, а часть резиновой подушки, прилегающая к детали, — из резиновой пластины толщиной 40—60 *мм* повышенной твердости. Такая резиновая подушка обладает некоторой

универсальностью. Наиболее часто основную массу резиновой подушки набирают из пластин резины марок 2462; 56; 3311. Рабочую пластину, находящуюся в непосредственном контакте с деформируемой заготовкой, выбирают согласно данным табл. 7. При выборе марок резины руководствуются следующими положениями:

1) резину марок 56 и 2651 применяют для штамповки деталей из сплавов алюминия, при этом учитывают, что резина марки 2651 имеет пониженные механические свойства;

Таблица 7

Применение различных сортов резины

Схема штамповки и конструктивные характеристики деталей	Твердость резины		
	повышенная (65—90 по Шору)	средняя (45—60 по Шору)	мягкая (менее 45 по Шору)
I схема. Резиновая подушка — матрица, штамповка без прижима. Штамповка деталей с различными бортами, отбортовками, подсечками; пробивка отверстий одновременно с формообразованием детали	Для сталей и сплавов алюминия	Только для деталей из сплавов алюминия	Не применяется
II схема. То же, но групповая штамповка. Обрезка по контуру, штамповка деталей с различными бортами, отбортовками, подсечками; пробивка отверстий одновременно с формообразованием детали	Для сталей и сплавов алюминия	Не применяется	Не применяется
III схема. Резиновая подушка — пуансон, штамповка без прижима. Штамповка рифтов, обтекателей с небольшим соотношением h/l, элементов жесткостей, отбортовок, полупатрубков, неглубоких днищ	Не применяется	Преимущественно для сплавов алюминия	Для сталей и сплавов алюминия
IV схема. Резиновая подушка — матрица, штамповка с прижимом. Штамповка сложных деталей замкнутого контура, требующих при формообразовании глубокой вытяжки	Не применяется	Для сталей и сплавов алюминия	Для сталей и сплавов алюминия
V схема. Резиновая подушка — пуансон, штамповка с прижимом. Штамповка глубоких днищ, обтекателей с большим соотношением h/l и др.	Не применяется	Преимущественно для сплавов алюминия	Для сталей и сплавов алюминия

2) резину марки 2462 и 3826 (повышенной твердости) применяют для рабочей пластины при штамповке стальных деталей; всю остальную часть подушки делают из резины марок 56 и 2621, т. е. из резины средней твердости;

3) резину марок 4004 и 3826 (повышенной твердости) применяют в качестве отдельных накладок для калибровки изготовляемых деталей;

4) резину марки 5168 (повышенной твердости) применяют в качестве рабочей пластины или в виде накладок при штамповке деталей из магниевых и титановых сплавов с нагревом заготовок. Этот сорт резины термостоек, однако контакт ее с поверхностью детали должен быть возможно кратковременным.

Толщину резиновых подушек принимают равной 1,5—3,0 и более высоты штампуемой детали, причем учитывают степень формоизменения подушки; чем она больше, тем больше должна быть толщина подушки.

В плане резиновая подушка должна быть на 2,5—3 *мм* больше соответствующих размеров контейнера. Это делают с целью более плотной посадки резиновой подушки при запрессовке ее в корпус контейнера.

§ 6. ОСНАСТКА, ОСОБЕННОСТИ ЕЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ

1. Контейнеры

Конструкции контейнеров очень разнообразны. Контейнеры могут быть литыми, сварными из пластин, из пластин на шпильках, сварные с ребрами и др. (рис. 38).

По форме рабочей полости наиболее рациональными контейнерами с точки зрения распределения нагрузок являются цилиндрические. Однако, учитывая геометрию детали и желательность наиболее полного использования площади подштамповой плиты, делают контейнеры других форм (прямоугольного и эллиптического сечений). Размеры контейнеров определяют по усилию пресса и необходимому давлению для штамповки деталей.

Контейнеры по существу своей работы являются емкостями, работающими под большими внутренними давлениями (100—1200 *ат*), и на них распространяются нормы и порядок эксплуатации, установленные Госгортехнадзором. Каждый вновь изготовленный контейнер должен быть испытан на прочность в соответствии с требованиями, предъявляемыми Госгортехнадзором.

Шпильки, скрепляющие контейнер, следует заменять после 30—35 часов эксплуатации.

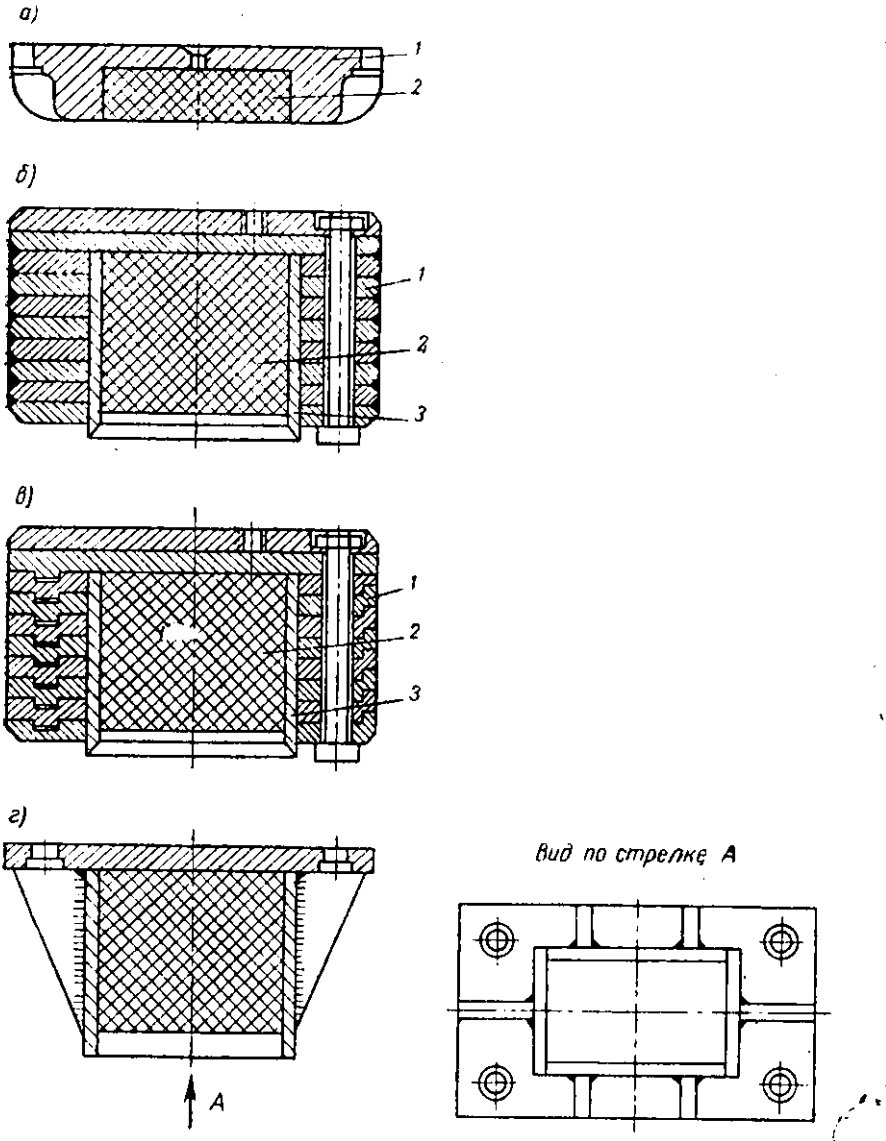


Рис. 38. Типы контейнеров:

а — литой; *б* — сварной из пластин; *в* — из пластин на шпильках; *г* — сварной с ребрами; *1* — корпус контейнера; *2* — резиновая подушка; *3* — стакан

Контейнер должен иметь отверстия в установочной плите или проушины для крепления его к ползуну пресса.

В комплект контейнера входит подштамповая плита с проушинами для ее крепления к столу пресса. Часть подштамповой плиты, входящей в контейнер, делают в плане меньше на 3—4 *мм* на сторону, чем соответствующие размеры в контейнере. Заполнение контейнера резиновой подушкой по высоте должно быть таким, чтобы подштамповая плита с установленными на ней формоизменяющими элементами наибольшей высоты заходила на 5—8 *мм* в контейнер при соприкосновении формоизменяющего элемента с резиновой подушкой. В верхней плите контейнера предусматривают отверстия с пробками. Если конструкция корпуса контейнера монолитна, то предусматривают дренажные каналы.

2. Жесткие формоизменяющие элементы

Жесткие формоизменяющие элементы изготовляют из различных материалов: сплавов алюминия, балинита, текстолита, различных пластмасс, чугуна и стали. В ряде случаев оснастку изготовляют комбинированную из двух материалов, применяя сталь в наиболее напряженных местах.

Конструкции жестких формоизменяющих элементов имеют ряд особенностей и соотношений конструктивных размеров, установленных практикой.

Особенности конструкций пуансонов

При проектировании пуансонов стремятся объединить возможно большее число операций в одном штампе.

На рис. 39 даны схемы конструкций таких штампов. За

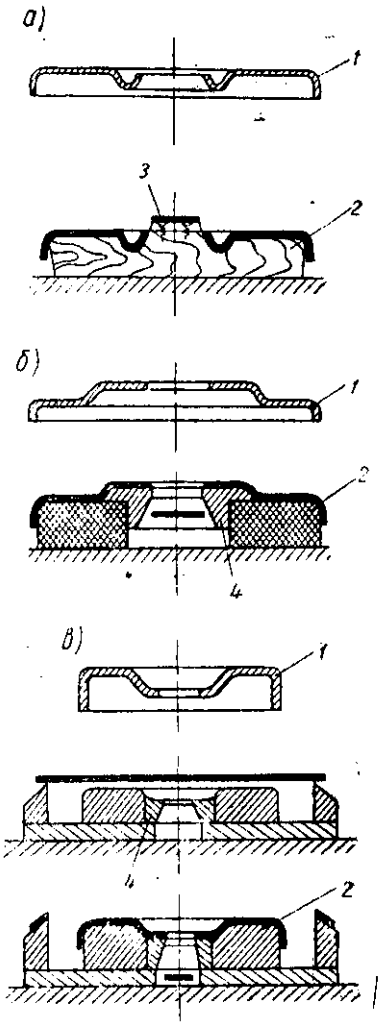


Рис. 39. Конструкции комбинированных штампов:

1 — отштампованная деталь; *2* — пуансон; *3* — стальная накладка; *4* — стальная втулка

один ход пресса выполняются обрезка по контуру, просечка отверстий, отбортовка отверстий, гибка бортов детали. Некоторые элементы штампа, выполняющие обрезку, изготовляют из стали, остальные части штампа — из пластмассы или древесины.

Особенности конструкций матриц

Конструкция матрицы для штамповки полупатрубка приведена на рис. 40. Как видно, матрица имеет скосы. Эти скосы делают с целью уменьшения износа резиновой подушки. Ширину рабочей части по верху определяют из соотношения:

$$a = 5R_{п}, \tag{36}$$

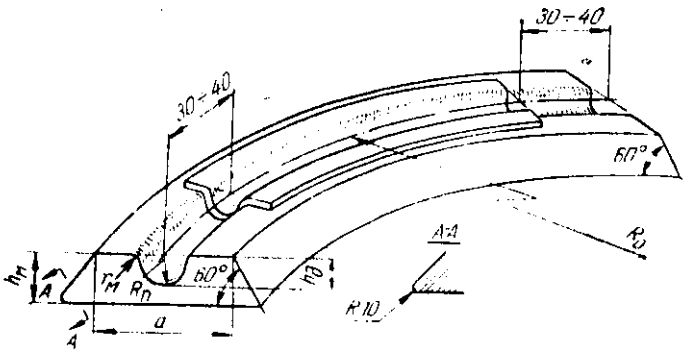


Рис. 40. Конструкция матрицы для штамповки полупатрубка

высоту матрицы — из формулы:

$$h_м = (1{,}5 \div 2{,}0)\,R_п, \tag{37}$$

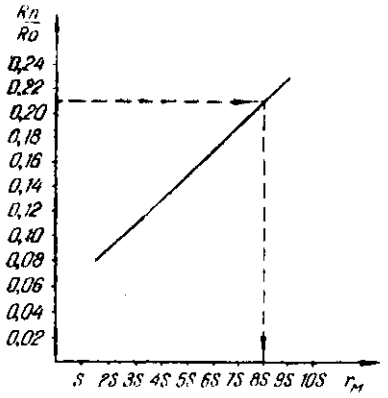


Рис. 41. График для определения радиуса рабочих кромок матрицы

где $R_п$ — внутренний радиус патрубка.

Радиус закругления рабочих кромок матрицы $r_м$ принимают как функцию радиуса изгиба полупатрубка и толщины металла заготовки и определяют по графику (рис. 41). Например, для патрубка толщиной $s = 2$ *мм* и при $R_0 = 45{,}7$ *мм* (где R_0 — радиус патрубка при виде в плане) и $R_п = 10$ *мм* получаем $r_м = 8 \cdot s = 8 \cdot 2 = 16$ *мм*.

Матрицы изготовляют из сплава АЦ-13 или балинита.

Иногда применяют чугун или сталь. Чистота поверхности должна быть $\nabla 7$, чтобы на деталях не было отпечатка от шероховатости поверхности матрицы.

Соотношение размеров матриц для штамповки деталей типа обтекателей приведено на рис. 42.

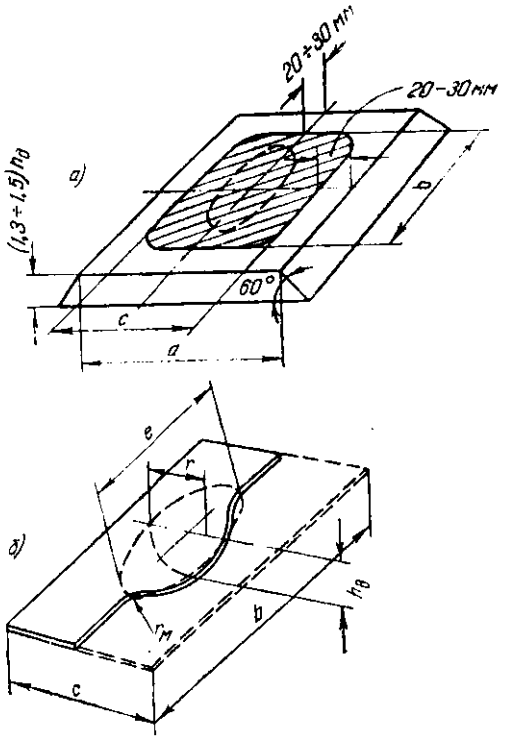


Рис. 42. Схема матрицы для штамповки деталей типа обтекателей:

а — матрица; *б* — деталь, изготовленная по матрице

При вытяжке без перемещения фланца крупногабаритных деталей двойной кривизны (типа днищ) геометрию рабочей части матрицы необходимо корректировать на отпружинивание: глубина матрицы должна быть увеличена на величину Δh, зависящую от материала, габаритов детали в плане и глубины детали. Величину поправки выбирают по таблицам справочников.

Профиль матрицы с поправкой на пружинение Δh должен иметь плавные сопряжения с точками, лежащими на периметре штампуемого рельефа.

Особенности конструкций пуансонов для глубокой вытяжки

Пуансоны изготовляют как из углеродистых сталей, так и из сплава АЦ-13. Чистота поверхности должна быть ▽7. При штамповке деталей из сплавов алюминия при коэффициенте вытяжки $k > 0{,}5$ и малых партиях можно применять для пуансонов балинит или текстолит.

Радиусы закруглений пуансона в плане должны быть не менее трех толщин материала заготовки детали. Оптимальные радиусы закругления торца пуансона равны 6÷8 толщинам штампуемой заготовки.

Для деталей прямоугольных форм наименьшие радиусы сопряжения граней пуансона принимают: (10÷15) s — для сплавов алюминия; (13÷15) s — для С20; (15÷17) s — для 1Х18Н9Т.

Прижимные кольца изготовляют из инструментальных сталей или из малоуглеродистых с поверхностной цементацией. Чистота поверхности контактной стороны прижимных колец должна быть не ниже ▽7, поскольку по этой поверхности скользит фланец заготовки.

Зазор между пуансоном и прижимным кольцом должен быть равен 0,3 ÷ 0,6 *мм* на сторону.

На рис. 43 показано несколько конструкций пуансонов с прижимами.

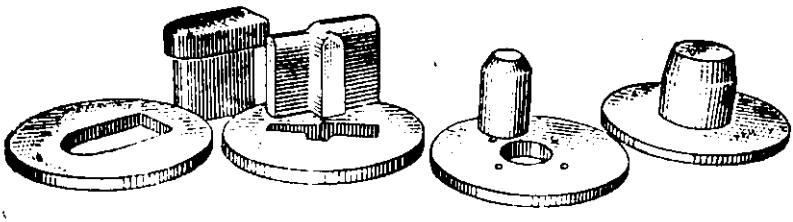


Рис. 43. Пуансоны и прижимы для глубокой вытяжки

§ 7. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ШТАМПОВКЕ РЕЗИНОЙ

При штамповке резиной наиболее рационально применять гидравлические прессы, но можно использовать и другие типы прессов, не имеющих жесткой связи с приводом. Наличие такой связи нежелательно, так как резиновая подушка аккумулирует энергию и при неблагоприятных условиях отдача этой энергии

может вызвать перенапряжения в отдельных узлах пресса и поломку его деталей.

Потребные усилия прессов для штамповки резиной достигают нескольких десятков тысяч тонн. Необходимость прессов большой мощности является основным недостатком метода штамповки резиной.

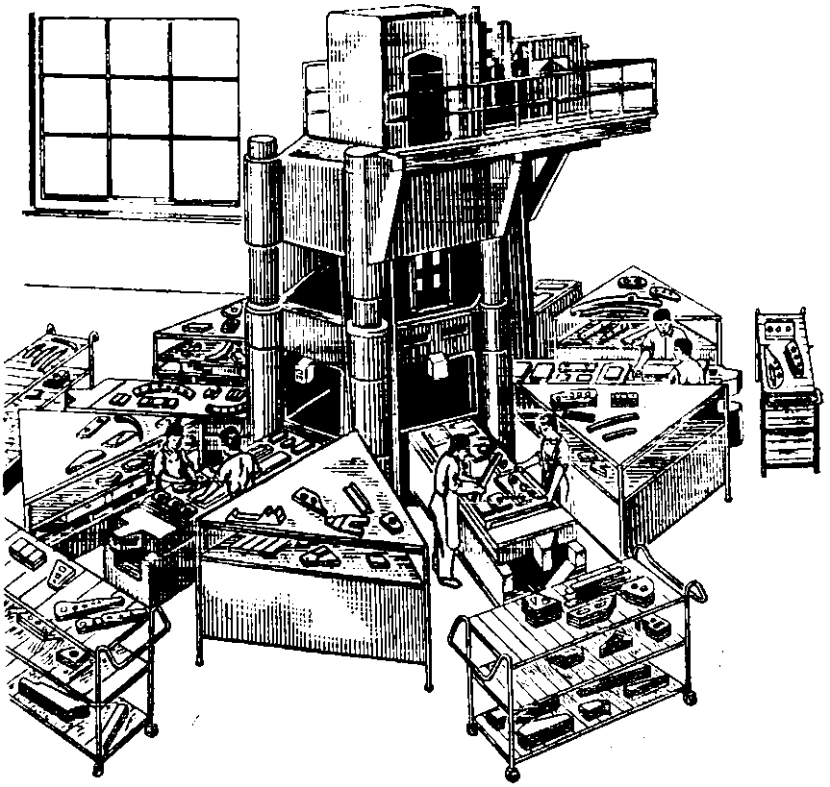


Рис. 44. Шестиколонный пресс мощностью 5000 т для групповой штамповки

Прессы большой мощности уникальны и стоят очень дорого. На рис. 44 показан пресс с наибольшим усилием с шестью столами. При наличии нескольких столов коэффициент использования пресса резко возрастает, поскольку столы последовательно подаются под пресс. В то время как совершается процесс штамповки, на других столах производят набор жестких элементов

штампа и укладывают на них заготовки. Пресс такой мощности представляет собой очень сложное сооружение. Известны и более мощные прессы — 75 000 — 100 000 тыс. *т* и более. Последние имеют рамную конструкцию, поскольку размеры колонн достигают диаметра, сужающего рабочую зону пресса.

В настоящее время выпускают специальные прессы для глубокой вытяжки типа ПШВР-1 (рис. 45) и ПШВР-3.

В табл. 8 приведены основные характеристики этих прессов.

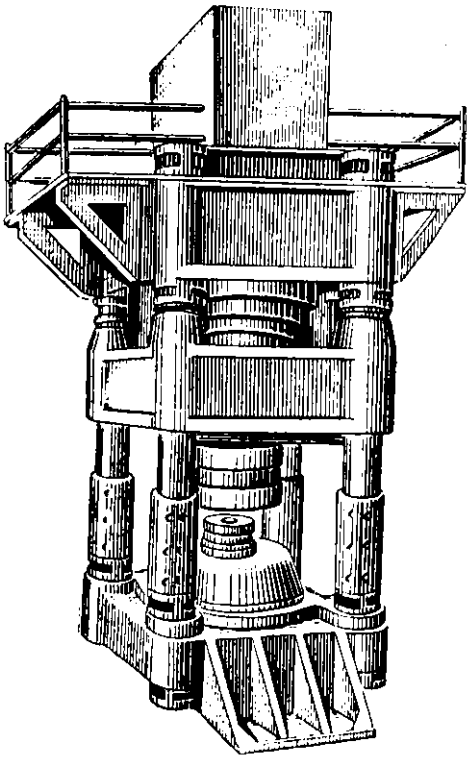


Рис. 45. Общий вид пресса ПШВР-1 для вытяжки при повышенных давлениях резиновой матрицей

Глубокую вытяжку резиной можно производить также на универсальных гидравлических прессах, но с применением специальных установок для глубокой вытяжки.

Эти установки при оснащении ими универсальных прессов заменяют специализированные прессы типа ПШВР.

Схема такой установки приведена на рис. 46.

Характеристики универсальных установок даны в табл. 9.

При уменьшении внутреннего диаметра контейнера и соответствующих изменениях конструктивных размеров давление резиновой подушки можно повысить до 800—1200 *кГ/см²*.

Для штамповки деталей из материалов, формоизменяемых с предварительным нагревом (магниевые сплавы, сплавы титана), применяют специальные гидравлические прессы, оборудованные устройствами, нагревающими подштамповые плиты. От подштамповых плит нагреваются жесткие формоизменяющие элементы и заготовки деталей, укладываемые на них. После определенной выдержки заготовки приобретают температуру, необходимую для штамповки.

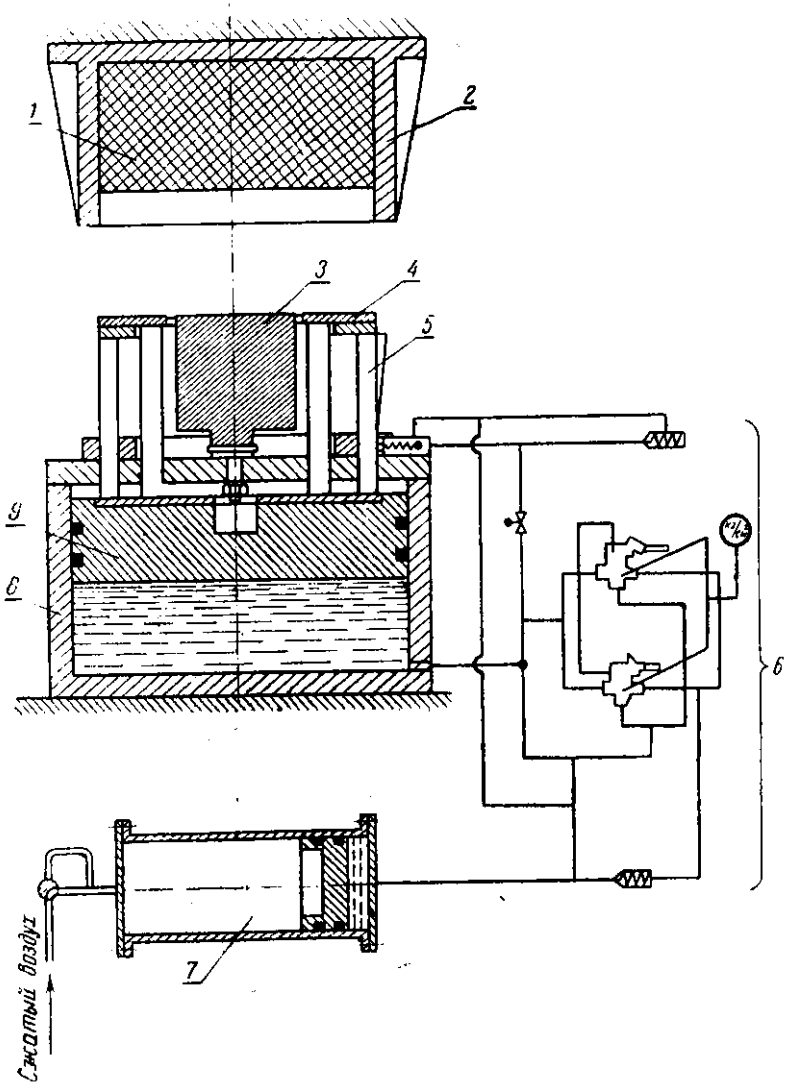


Рис. 46. Универсальная установка для глубокой вытяжки деталей с прижимом и резиной, работающей в качестве матрицы:

1 — резиновая матрица; *2* — корпус матрицы; *3* — сменный пуансон; *4* — сменное прижимное кольцо; *5* — опорные колонки; *6* — гидравлическая система регулировки давления; *7* — пневмогидроаккумулятор; *8* — корпус гидравлического агрегата; *9* — поршень агрегата

Таблица 8

Технические характеристики прессов для вытяжки резиновой матрицей

Основные технические данные	Тип пресса	
	ПШВР-1	ПШВР-3
Наибольшее усилие пресса, *т*	1500	2800
Усилие нижнего цилиндра, *т*	800	2500
Наибольшая высота штампуемой детали, *мм*	230	—
Открытая высота пресса, *мм*	1340	—
Закрытая высота пресса, *мм*	740	—
Наибольший внутренний диаметр контейнера, *мм*	800	950
Наибольшее давление резины в контейнере, *кГ/см²*:		
при внутреннем диаметре 440 *мм*	1000	—
» 650 *мм*	400	—
» 800 *мм*	300	400
Толщина резины в контейнере, *мм*	600	800
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*		200
Скорость перемещения пуансона, *мм/мин*:		
вверх	1,04	—
вниз	7,6	—
Скорость перемещения траверсы, *м/мин*:		
вверх	7,8	6,0
вниз	7,3	5,1
Суммарная мощность электродвигателей, *квт*	160	167,7
Расстояние между осями колонн, *мм*	1500×1100	2100×2000
Габаритные размеры пресса, *мм*:		
длина	2900	8200
ширина	2600	8230
высота	7685	11870
Вес пресса, *т*	120	248

Таблица 9

Технические характеристики универсальных установок для глубокой вытяжки резиновыми матрицами

Основные технические данные	УВШ-1М	УВШ-5	УВШ-5М
Наибольшее давление, развиваемое резиновой подушкой, *кГ/см²*	500	500	500
Наибольший внутренний диаметр контейнера, *мм*	150	300	350
Наибольшая высота штампуемой детали, *мм*	80	150	180
Высота резиновой подушки, *мм*	150	300	300
Наибольшее усилие пресса для обеспечения давления 500 *кГ/см²*, *т*	90	400	500

Глава III

РАЗНОВИДНОСТИ МЕТОДА ШТАМПОВКИ РЕЗИНОЙ

§ 1. ГИДРОРЕЗИНОШТАМПОВКА

При гидрорезиноштамповке не нужно пользоваться мощными гидравлическими прессами.

Сущность метода сводится к тому, что необходимого давления, развиваемого резиновой подушкой, достигают, подавая жидкость от насоса высокого давления непосредственно в контейнер, в полость, расположенную над резиновой подушкой, в которую заложен резиновый мешок (рис. 47).

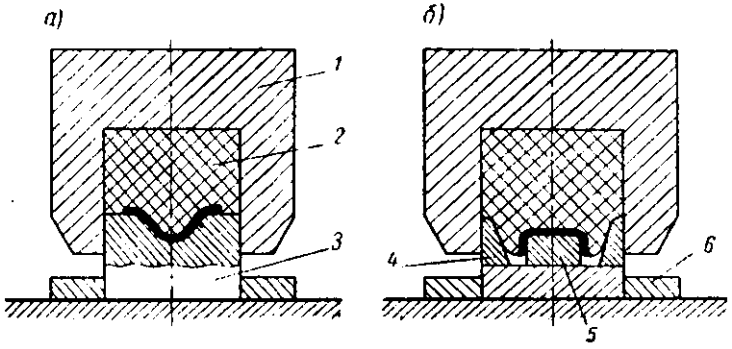


Рис. 47. Принципиальная схема установки для гидрорезиноштамповки:

а — исходное положение; *б* — в ходе процесса штамповки; *1* — резиновая подушка; *2* — верхняя часть корпуса контейнера; *3* — средняя часть контейнера; *4* — основание контейнера; *5* — резиновый мешок; *6* — штуцер для подачи жидкости; *7* — выдвижная подштамповая плита; *8* — жесткий формоизменяющий элемент

На рис. 48 дано сопоставление (в одинаковом масштабе) конструктивных схем установок для штамповки резиной и гидрорезиноштамповки при выполнении одной и той же операции. Насосная установка в схему не введена, поскольку она в обоих случаях одинакова.

Наличие полости с жидкостью над резиновой подушкой создает условия несколько большей возможности формоизменения

резиновой подушки, а это обеспечивает получаемый эффект, как при использовании резины меньшей твердости. Поэтому для резиновых подушек при гидрорезиноштамповке применяют более твердые сорта. Обычно основную массу резиновой подушки

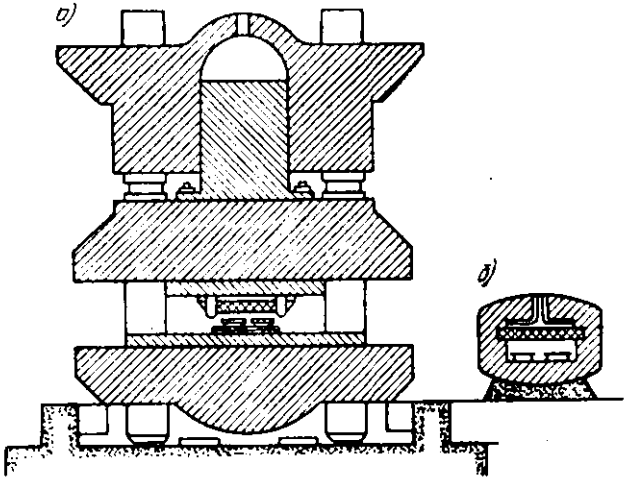


Рис. 48. Сопоставление размеров прессов при штамповке резиной и гидрорезиноштамповке:

а — установка для штамповки резиной; *б* — установка для гидрорезиноштамповки

изготовляют из резины марки 2462, а накладку — из резины марки 4004.

Метод гидрорезиноштамповки можно осуществить по I, II, III и IV схемам. Все теоретические положения, приведенные в главе II, в равной мере относятся и к методу гидрорезиноштамповки. Применяемая оснастка остается такой же.

§ 2. ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ ГИДРОРЕЗИНОШТАМПОВКЕ

Поскольку применяемое давление жидкости при гидрорезиноштамповке высокое (порядка 400 *кГ/см*^{2} и выше), то контейнер с резиновой подушкой представляет собой мощное сооружение. На рис. 49 представлены общие виды двух установок для гидрорезиноштамповки, выпускаемых отечественной промышленностью, типов ПШР-0 и ПШР-1. Это высокопрочные контейнеры, снабженные двумя столами — подштамповыми плитами, имеющими форму корыта с толстыми стенками (см. схему на рис. 47). Такая форма подштамповых плит создает в

зонах формоизменения (при штамповке по I схеме) клиновидность свободных объемов, что повышает горизонтальные составляющие давлений.

Выдвижные подштамповые плиты установлены с противоположных сторон контейнера и подаются в контейнер поочередно,

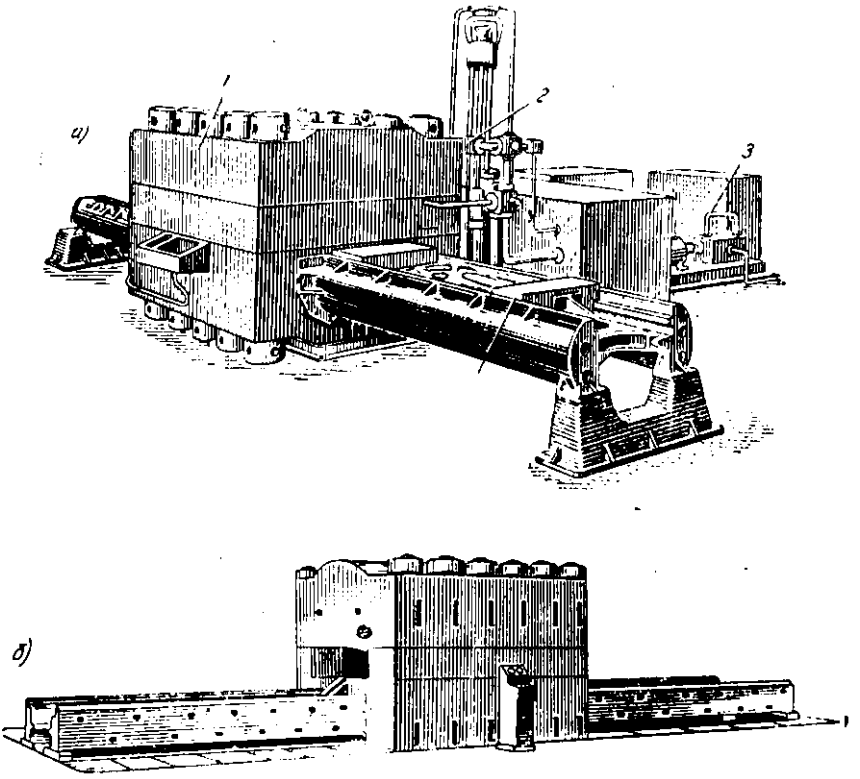


Рис. 49. Общий вид установок для гидрорезиноштамповки:

а — тип ПШР-0; *1* — корпус контейнера; *2* — аккумулятор давления; *3* — насосная установка; *4* — выдвижные подштамповые плиты; *б* — тип ПШР-1.

т. е. они работают по челночной схеме. На одной плите набирают формблоки и укладывают заготовки, а другая плита находится в контейнере. После штамповки первая плита выдвигается из контейнера, а вторая с набранными заготовками подается в контейнер. Такая схема работы повышает производительность установки.

В табл. 10 приведены технические характеристики установок ПШР-0 и ПШР-1 для изготовления деталей из листа методом штамповки резиной при повышенном давлении.

Таблица 10

Технические характеристики установок для гидрорезиноштамповки

Основные технические данные	ПШР-0	ПШР-1
Наибольшее усилие пресса, *т*	4600	9600
Наибольшее удельное давление со стороны резиновой подушки, *кГ/см²*	400	400
Рабочая площадь стола, *мм*	700×1500	1200×2000
Количество рабочих столов, *шт*	2	2
Наибольшая высота штампуемой детали, *мм*	60	80
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	400	400
Время рабочего цикла, *мин*	2	2,5
Суммарная мощность электродвигателей, *квт*	64,9	85
Габаритные размеры пресса, *мм*:		
длина	10000	14260
ширина	8000	8350
высота	3100	6500
Вес пресса, *т*	140	254

Конструктивное оформление обоих типов прессов аналогично. Корпусы контейнеров стальные. Резиновые мешки обычно приклеивают к верхнему своду контейнера, а другой поверхностью — к резиновой подушке. Контейнер разборный. Отдельные секции контейнера стянуты сквозными шпильками большого диаметра, что создает удобство при ремонте и для смен резиновых подушек.

§ 3. УДАРНАЯ ШТАМПОВКА РЕЗИНОЙ

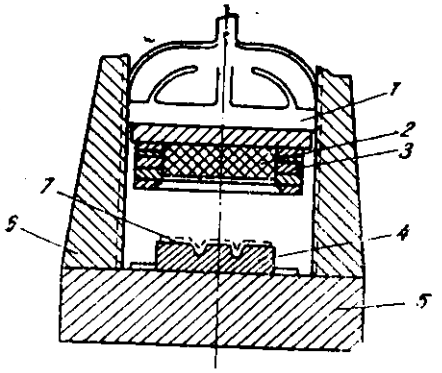


Рис. 50. Схема установки для ударной штамповки резиной:

1 — стессель молота; *2* — резиновая подушка; *3* — контейнер; *4* — жесткий формоизменяющий элемент; *5* — рабочий стол; *6* — колонна молота; *7* — заготовка детали

При ударной штамповке резиной производится удар по жесткому формоизменяющему элементу с уложенной на нем заготовкой, резиновой подушкой, заключенной в контейнер. В данном случае для формоизменения заготовки используют кинетическую энергию частей, движущихся вместе с резиновой подушкой.

Ударную штамповку обычно ведут с использованием листоштамповочных молотов типа МЛ, однако это не исключает применения молотов другого типа.

Схема установки для ударной штамповки приведена на рис. 50. Контейнер закрепляют на стесселе молота. Жесткий формоизменяющий элемент штампа (пуансон) устанавливают на рабочем столе молота. Пуансон должен свободно входить в контейнер с зазорами порядка 3—4 *мм*. Под влиянием удара в резиновой подушке развиваются давления, и подушка обжимает заготовку по жесткому формоизменяющему элементу.

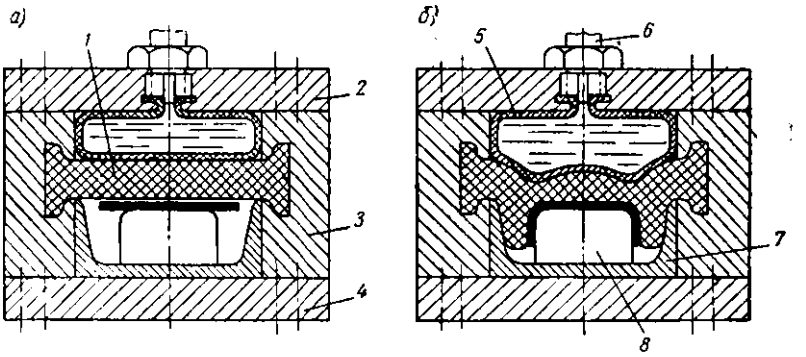


Рис. 51. Схемы ударной штамповки резиной:

а — резина работает в качестве пуансона; *б* — резина работает в качестве матрицы; *1* — контейнер; *2* — резиновая подушка; *3* — матрица; *4* — подпор; *5* — пуансон; *6* — центрирующая плита

При ударной штамповке резиной применяют три схемы (рис. 51): I схема — без прижима с резиновой подушкой, работающей в качестве пуансона; II схема — без прижима с резиновой подушкой, работающей в качестве матрицы; III схема — с прижимом заготовки и резиновой подушкой, работающей в качестве пуансона.

Величина максимального давления, развиваемого резиновыми подушками, зависит от веса падающих частей молота и высоты, с которой они падают, что определяет силу удара.

В ряде случаев при больших степенях деформаций штамповку производят за несколько ударов нарастающей силы, при этом в зонах с максимальной степенью формоизменения подкладывают резину или принимают другие меры, ограничивающие степень формоизменения.

Иногда применяют промежуточные отжиги. Такая система штамповки позволяет сократить количество необходимой оснастки, так как на одной и той же матрице можно штамповать несколько переходов.

В ряде случаев при проектировании процессов штамповки необходимо знать величину давления, развиваемого резиновой подушкой при ударе, т. е. определить $Q_р$:

$$Q_р = f(H_с;\quad G;\quad F), \tag{38}$$

где $Q_р$ — давление, развиваемое резиновой подушкой, *кГ/см²*;
$H_с$ — высота подъема стесселя, *см*;
G — вес падающих частей, *кГ*;
F — рабочее зеркало резиновой подушки, *см*.

Давление резиновой подушки $Q_р$ легко определить из условия равенства кинетической энергии падающих частей штампа и энергии деформации подушки:

$$A_{кин} = A_{пот}. \tag{39}$$

Кинетическая энергия падающих частей штампа:

$$A_{кин} = \frac{GV_0^2}{2 \cdot g}, \tag{40}$$

где G — общий вес падающих частей (включая вес контейнера), *кГ*;
V_0 — скорость падающих частей в момент контакта резины с матрицей, *см/сек*².

Определим потенциальную энергию деформации резиновой подушки.

Из теории пластичности известно, что удельная энергия деформированного элемента тела равна:

$$a_{пот} = \frac{1}{2}(\sigma_1\varepsilon_1 + \sigma_2\varepsilon_2 + \sigma_3\varepsilon_3)\ \frac{кГсм}{см^3}, \tag{41}$$

где σ_1; σ_2; σ_3 — напряжения в конце процесса деформирования по осям x, y, z;
ε_1; ε_2; ε_3 — соответствующие этим напряжениям деформации.

Деформацией контейнера пренебрегаем, полагая, что он представляет собой абсолютно жесткую систему. Тогда деформации

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0,$$

и выражение (41) принимает для этого случая следующий вид:

$$a_{пот} = \frac{1}{2}\sigma_1\varepsilon_1. \tag{42}$$

Потенциальная энергия резиновой подушки будет выражена соотношением:

$$A_{пот} = \frac{1}{2}\sigma_1\varepsilon_1\pi \cdot R^2H, \tag{43}$$

где R — радиус рабочего зеркала резиновой подушки, *см*;
H — толщина резиновой подушки, *см*.

Деформация резиновой подушки может быть выражена через модуль объемного сжатия резины $E_р = 21\,000$ *кГ/см²*:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{E_р}, \tag{44}$$

но напряжение σ_1 соответствует давлению, развиваемому резиновой подушкой, т. е.

$$\sigma_1 = Q_р \ кГ/см^2.$$

Следовательно,

$$\varepsilon = \frac{Q_р}{E_р}. \tag{45}$$

Тогда

$$A_{пот} = \frac{1}{2}\frac{Q_р^2}{E_р}\pi \cdot R^2 \cdot H. \tag{46}$$

Подставляя в формулу (39) значения $A_{кин}$ и $A_{пот}$, получаем:

$$\frac{GV_0^2}{2 \cdot g} = \frac{Q_р^2}{2E_р}\pi R^2 \cdot H,$$

откуда после преобразований получаем:

$$Q_р = \frac{V_0}{R}\sqrt{\frac{GE_р}{g\pi H}}, \tag{47}$$

где V_0 — скорость, меньшая скорости свободного падения движущихся частей штампа. $V_{теор} = \sqrt{2gH_с}$, так как существуют силы трения в направляющих штампа, замедляющие движение штампа. Значения V_0 приведены в табл. 11.

Расчет по этим соотношениям дает точность, достаточную для практики. Более точные соотношения требуют учета уширения контейнера при ударе, деформаций системы молота и учета других факторов. Однако соотношения получаются очень сложными и в практике трудно применимыми.

Основными достоинствами метода ударной штамповки резиной являются следующие:

1. Отсутствие гидропрессов. Молоты, применяемые при ударной штамповке резиной, устроены значительно проще.

Расчеты и экспериментальные работы показывают, что энергия одного удара молота типа МЛ с весом падающих частей 1 000 *кГ* при использовании максимального подъема стесселя

достаточна для штамповки деталей, которые при обычной штамповке резиной потребовали бы гидропресс с усилием 400—500 *т*. Молот типа МЛ с весом падающих частей 5 000 *кГ* эквивалентен гидравлическому прессу 2 000—2 500 *т*.

2. Оснастка проста в изготовлении; не требуется подгонки матрицы под пуансон. Один из формоизменяющих элементов универсален и представляет собой резиновую подушку.

3. Кратковременность контакта резиновой подушки с заготовкой допускает изменение формы заготовок в нагретом виде.

4. Импульсный характер деформирования допускает большие степени формоизменения, т. е. уменьшение количества переходов.

Основным недостатком метода ударной штамповки резиной является некоторая ограниченность максимальных размеров штампуемых деталей и комплекса выполняемых операций.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ УДАРНОЙ ШТАМПОВКИ РЕЗИНОЙ

С технологической точки зрения детали, которые формуют методом ударной штамповки резиной, можно подразделить на три класса. На рис. 52 приведены типичные детали каждого класса.

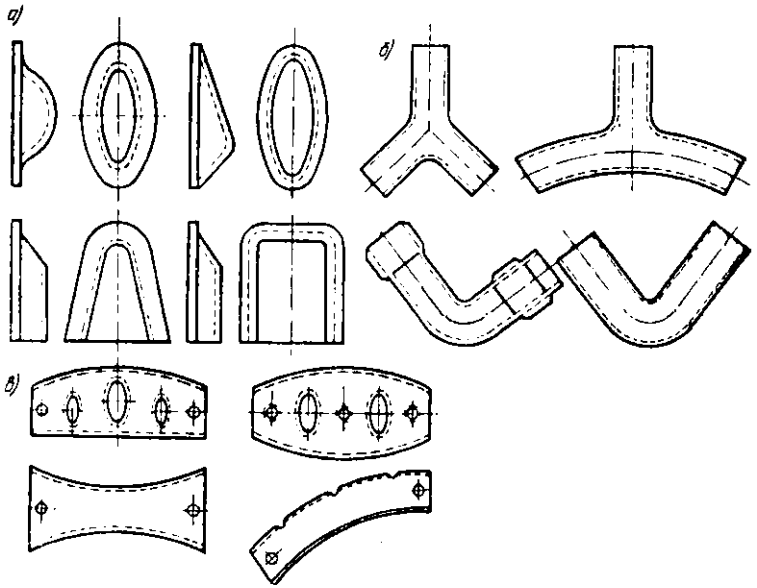


Рис. 52. Классификация деталей, штампуемых по методу ударной штамповки резиной:

а — детали первого класса; *б* — детали второго класса; *в* — детали третьего класса

К первому классу относятся детали, имеющие элементы вытяжки при защемленном (штамповка с прижимом) или незащемленном (штамповка без прижима) фланце (коробки, днища, обтекатели).

Для деталей второго класса характерно наличие отбортовки, вытяжки и гибки (полупатрубки).

Третий класс деталей характеризуется гибкой бортов выпуклых, вогнутых, прямых (элементы нервюр и шпангоутов, диафрагмы).

Детали первого и второго классов рационально штамповать по I схеме, а детали третьего класса — по II схеме. Для деталей первого и второго классов применяют грубо приближенные заготовки, т. е. со значительными припусками, которые после формообразования детали обрезают.

Для деталей третьего класса заготовки должны быть в виде точных разверток деталей на плоскости.

Каждый класс деталей имеет свои особенности штамповки. Рассмотрим эти особенности.

1. Особенности штамповки деталей первого класса

При штамповке деталей первого класса можно неравномерно перемещать материал в полость матрицы. Поэтому получить детали типа днищ, коробок, обтекателей без фланца невозможно. Для получения таких деталей ведут штамповку с фланцем с последующей его обрезкой. Заготовка для получения деталей должна иметь припуски на образование радиуса $r_м$ и фланца (рис. 53). Отношение диаметра фланца $d_ф$ к диаметру детали d должно быть $\frac{d_ф}{d} \geqslant 1{,}2$. При штамповке деталей с фланцем припуск на обрезку по фланцу должен быть порядка 15—20 *мм*.

Для получения деталей высокого качества необходимо учитывать отношение высоты детали к диаметру, т. е. относительную глубину вытяжки (рис. 53, *а*) $\frac{h}{d}$. Численная величина относительной глубины вытяжки должна быть меньше определенных значений, зависящих от относительной величины фланца $d_ф/d$, механических характеристик металла и величины давления, развиваемого резиновой подушкой. Если относительная глубина вытяжки будет больше, то возникнут гофры.

На рис. 54 приведен график зависимости относительной глубины вытяжки для деталей из сплавов алюминия при давлении резиновой подушки в пределах 200—300 *кГ/см²* от относительной величины фланца.

При штамповке деталей из сталей марок С20 или 1Х18Н9Т давление резиновой подушки должно быть увеличено в 2—2,5 раза.

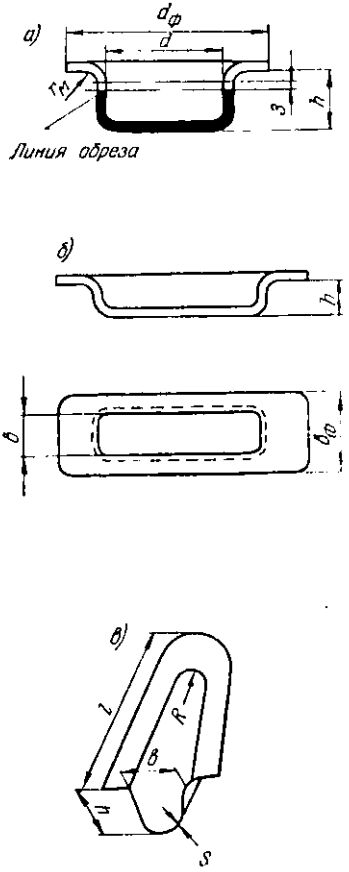


Рис. 53. Схема деталей первого класса:
а — цилиндрической формы;
б — коробчатой формы;
в — типа обтекателей

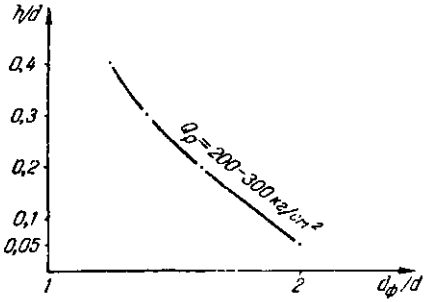


Рис. 54. График зависимости относительной глубины вытяжки от относительной величины фланца

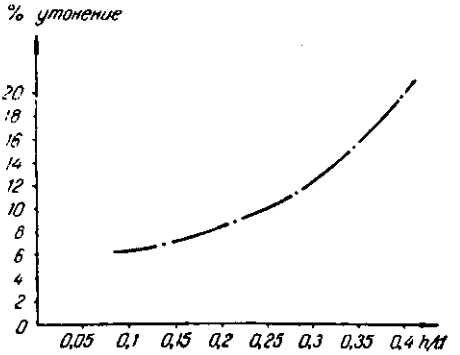


Рис. 55. График зависимости утонения от относительной глубины вытяжки при штамповке деталей типа днищ

Для качественной (без гофрообразования) штамповки прямоугольных (в плане) коробок радиусы сопряжения боковых стенок должны находиться в пределах $10 \div 20$ *мм*, а относительная глубина вытяжки должна быть $\frac{h}{b} \leqslant 0{,}45$ при относи-

тельной величине фланца (рис. 53, *б*). $1{,}1 < \frac{b_\Phi}{b} \leqslant 1{,}4$. Эти соотношения относятся к давлению резиновой подушки порядка 300 *кГ/см²*.

Следует отметить, что при недостаточном давлении возможна штамповка в несколько ударов. Например, при давлении $Q_р = 200$ *кГ/см²* и относительной глубине $h/b = 0{,}15$ требуется один удар, а при увеличении относительной глубины до $h/b = 0{,}35$ требуется 5—6 ударов.

Наименьший радиус сопряжения дна и стенок (независимо от формы детали в плане) определяют по формуле:

$$r = \sigma_в \frac{s}{Q_р}, \qquad (48)$$

где $\sigma_в$ — предел прочности материала;
s — толщина металла;
$Q_р$ — максимальное давление, развиваемое резиновой подушкой.

Для штамповки деталей типа обтекателей (см. рис. 53, *в*) высокого качества необходимо соблюдать следующие соотношения, установленные практикой: $R/s \geqslant 5$ и $b/l \geqslant 0{,}35$.

В случае штамповки с перемещением фланца $h/b \leqslant 0{,}5$, а при штамповке без перемещения фланца это же соотношение нельзя допускать более 0,25.

Формообразование деталей, имеющих элементы вытяжки, сопровождается утонением материала, зависящим от относительной глубины вытяжки.

На рис. 55 приведен график зависимости величины утонения от относительной глубины вытяжки при штамповке деталей типа днищ. Если значительное утонение недопустимо, то вытяжку деталей следует произвести с подкладными пластинами (рис. 56) (преимущественно при плоском дне) или с заполнением объема кусками резины (при сферической форме дна).

Возможен метод штамповки в два перехода с накоплением металла. Первый переход служит для придания плоской заготовке формы, обеспечивающей набор металла. При выворачивании детали после первого перехода, происходящем при втором переходе, в центральной части перехода происходит утолщение, которое в процессе формоизменения растягивается и утоняется, тем самым обеспечивая равномерную толщину стенки по всему днищу. Если такого накопления металла не производить, то в центральной части днища будет значительное утонение.

Размеры первого перехода рассчитывают из условий равенства объема металла готовой детали и перехода. Для опре-

деления этих величин следует пользоваться формулами для подсчетов объемов, имеющихся в справочниках по холодной штамповке. Высоту первого перехода подбирают из условий, что периметр первого перехода l должен быть на 4—6% меньше периметра готовой детали l_2. Радиус перехода R_1 подбирают из

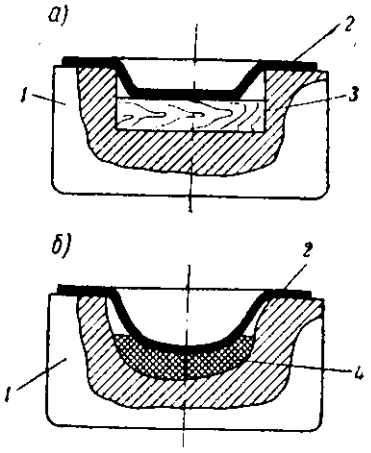


Рис. 56. Схема вытяжки с применением подкладок:
а — при плоском дне; *б* — при сферическом дне; *1* — матрица; *2* — деталь; *3* — деревянная подкладка; *4* — резиновая подкладка

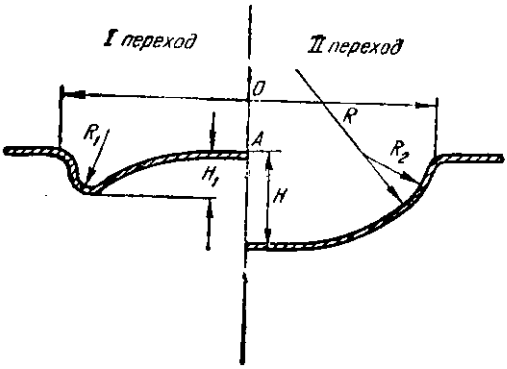


Рис. 57. Схема построения контура матриц при штамповке в два перехода

условия получения необходимой высоты H (рис. 57). Радиус перехода R_2 должен соответствовать радиусу перехода готовой детали R. Для упрощения подсчетов допустимо участки первой вытяжки строить одним радиусом, который следует подбирать графически из условий нахождения точки A в плоскости зеркала матрицы.

2. Особенности штамповки деталей второго класса

Детали второго класса (типа полупатрубка) также требуют припусков на обрезку, поскольку при штамповке происходит неравномерное перемещение материала в полость матрицы (рис. 58). Ширину заготовки подсчитывают по следующей формуле:

$$B = \pi(R + r) + 2(a + b), \qquad (49)$$

где R — радиус полупатрубка;
r — радиус вытяжного ребра матрицы;
b — размер фланца;
a — припуск на обрезку.

Длина заготовки должна иметь припуск порядка 10 ÷ 15 *мм*. Если патрубок имеет криволинейную форму, то необходимо выдержать определенное соотношение размеров, в противном случае возможно гофрообразование или разрыв материала заготовки.

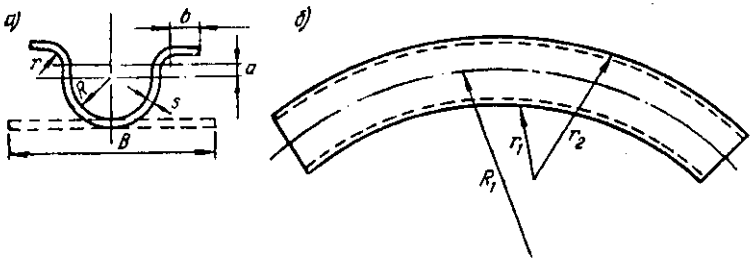


Рис. 58. Схемы полупатрубков, изготовляемых штамповкой:
а — развертка полупатрубка; *б* — полупатрубок в плане

При толщине материала в пределах 0,8—1,5 *мм* относительная кривизна изгиба полупатрубка должна быть в следующих пределах (рис. 58, *б*):

$$\beta = \frac{r_1}{r_2} \geqslant 0{,}25. \tag{50}$$

Необходимое давление для штамповки полупатрубков может быть определено из уравнения:

$$Q = \frac{\sigma_в (R_1 - R)\, s}{R R_1}, \tag{51}$$

где $\sigma_в$ — предел прочности металла;
R — радиус кривизны поперечного сечения патрубка;
R_1 — радиус кривизны полупатрубка в плане;
s — толщина металла заготовки.

3. Особенности штамповки деталей третьего класса

Штамповка деталей этого класса (элементы нервюр и шпангоутов, диафрагмы) принципиально не отличается от обычной штамповки резиной.

§ 5. ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ПРИ УДАРНОЙ ШТАМПОВКЕ РЕЗИНОЙ

1. Листоштамповочные молоты

Основным оборудованием при ударной штамповке резиной являются листоштамповочные молоты. В табл. 11 приведены характеристики таких молотов.

Таблица 11

Характеристики листоштамповочных молотов

Тип молота	Размеры стола, *мм*		Наибольший ход, *мм*	Подъемное усилие цилиндров, *кГ*	Вес шабота, *кГ*	Скорость падения (V_0), *м/сек*
	длина	ширина				
МЛ-0,8	900	700	850	850	9700	480
МЛ-1,5	1200	900	1050	1500	12500	550
МЛ-2,0	1200	1200	1100	2000	18000	550
МЛ-3,0	1700	1200	1200	3000	31000	550
МЛ-5,0	3100	1800	1500	5000	83000	550

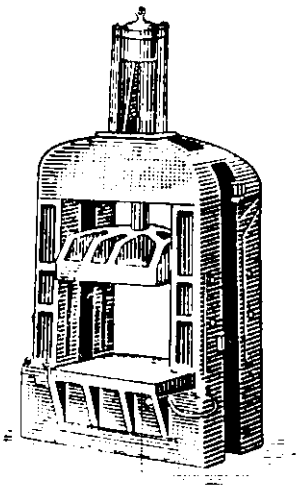


Рис. 59. Листоштамповочный молот типа МЛ-5

На рис. 59 представлен листоштамповочный молот типа МЛ. Молоты типа МЛ-0,8 и МЛ-1,5 одностоечные, а МЛ-2; МЛ-3; МЛ-5 — двухстоечные. Молоты типа МЛ состоят из шабота с рабочим столом, стоек и траверсы, на которой закреплен пневмоцилиндр. Шток поршня пневмоцилиндра соединен со стесселем. Стессель скользит в направляющих, закрепленных на стойках.

2. Контейнеры

Из условий наименьшей толщины стенок обычно применяют контейнеры цилиндрического типа. На рис. 38 представлены четыре типа контейнеров литой, сварной конструкции и на болтах. Последние собирают из отдельных колец, выполненных из листовой стали (Ст. 3 или С45) толщиной 45 ÷ 60 *мм*.

3. Жесткие формоизменяющие элементы

Такие элементы обычно изготовляют из сплава АЦ-13. Для матриц при штамповке алюминиевых сплавов можно применять эпоксипласт или пластик ТЛКЭ. Использование последнего допустимо при давлениях резиновой подушки не свыше 120 *кГ/см*^{2}.

Для сохранения в процессе штамповки соосности между отверстием в контейнере и матрицей последнюю устанавливают в отверстие центрирующей плиты, которую изготовляют из

листовой стали толщиной 15—25 *мм*. Плиту после центровки с контейнером крепят к столу молота четырьмя болтами диаметром 20 *мм*, для чего в столе сверлят и нарезают соответствующие отверстия.

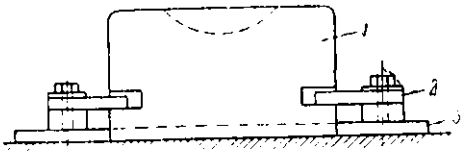


Рис. 60. Схема крепления матриц из пластика к столу молота:

1 — матрица; *2* — прихваты; *3* — центрирующая плита

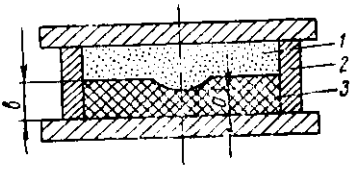


Рис. 61. Схема формовки матрицы:

1 — формовочная земля; *2* — опока; *3* — гипсомодель

Матрицы из пластиков закрепляют прихватами (рис. 60), поскольку их малый вес позволяет перемещать матрицы после удара в вертикальном направлении.

Размеры диаметра матрицы должны быть на 3—4 *мм* меньше внутреннего диаметра контейнера. Не допускается к штамповке матрица, занимающая только часть проекции отверстия контейнера, так как это потребует увеличения силы удара и приведет к повышенному износу резины. Постоянство наружных размеров матриц создает благоприятные условия для их отливки в опоку, имеющую диаметр, соответствующий диаметру матрицы с учетом усадки. Формовку наружной поверхности матрицы можно выполнять по гипсомодели. На рис. 61 дана схема формовки матрицы. При формовке размер *а* следует делать не менее 40 *мм* для металлических матриц и не менее 70 *мм* — для матриц из пластиков. Размер *в* должен быть не менее 120÷150 *мм*, и, кроме того, он должен обеспечить до-

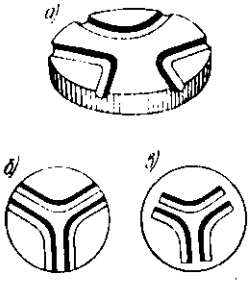


Рис. 62. Матрица с тремя формами:

а — общий вид матрицы; *б* — правильная схема; *в* — неправильная схема

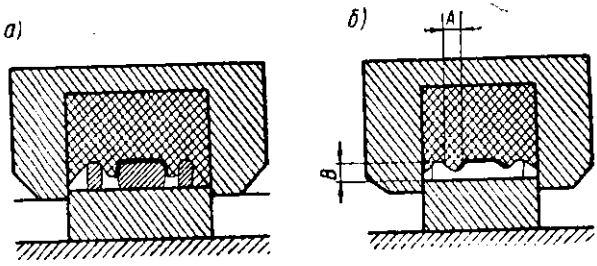


Рис. 63. Схемы штамповки жестким формблоком с подпором:

а — подпор, создаваемый дополнительным формблоком; *б* — подпор, создаваемый специальным формблоком

статочный зазор между нижней плоскостью контейнера и центрирующей плитой.

Одной матрицей допустима одновременная штамповка нескольких деталей. На рис. 62 показана матрица, которой можно одновременно штамповать три детали. Применение жестких пуансонов требует наличия подштамповой плиты. Обычно используют дополнительные устройства, создающие клиновидность свободного объема для повышения горизонтальных составляющих давления. На рис. 63 приведены две схемы такой штамповки.

Практикой установлены следующие соотношения размеров A и B:

$$A \geqslant h_д + 5 > 30 \text{ мм},$$
$$B \geqslant h_д + (10 \div 15 \text{ мм}),$$

где $h_д$ — высота борта детали.

Если же эти соотношения не выполняются, то борт детали будет недоштампован.

Глава IV

ШТАМПОВКА НА ПАДАЮЩИХ МОЛОТАХ

§ 1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Штамповка на падающих молотах известна с давних пор. Значительный объем доводочных ручных работ, большой шум и сотрясения при работе являются основными недостатками этого вида штамповки. Однако в опытных и мелкосерийных производствах благодаря малотрудоемкой и дешевой оснастке, требующейся при штамповке на падающих молотах, в ряде случаев целесообразно применять этот вид оборудования. Конструкция падающих молотов была усовершенствована за последнее время, кроме того, была отработана методика штамповки, что сократило необходимые доводочные ручные работы при изготовлении деталей.

Сущность формоизменения при штамповке на падающих молотах сводится к тому, что позаготовке, уложенной на жесткую металлическую матрицу, жестким пуансоном совершают ряд нарастающих по силе ударов. Под влиянием этих ударов заготовка принимает форму, соответствующую форме матрицы. Последний удар является калибрующим и наибольшим по силе. Система нарастающих ударов позволяет ограничить формоизменение заготовки, однако в ряде случаев эта мера оказывается недостаточной, и ограничение формоизменения достигается путем укладки в глубокие места матрицы кусков резины или же установкой на матрицу стопки фанерных ограничивающих рамок (рис. 64).

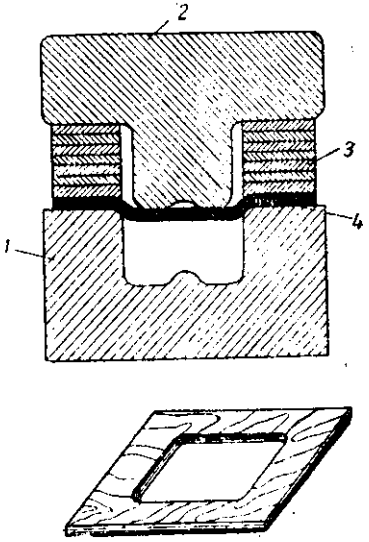


Рис. 64. Схема ограничения степени деформации заготовок при штамповке на падающих молотах при помощи фанерных рамок:
1 — матрица; *2* — пуансон; *3* — стопка фанерных рамок; *4* — заготовка детали

Приведенный порядок формоизменения допускает использование одних и тех же матрицы и пуансона при многопереходной штамповке деталей, имеющих элементы глубокой вытяжки. В ряде случаев при штамповке деталей, требующих нескольких переходов, применяют промежуточный отжиг для повышения пластичности материала и ручные операции для разглаживания гофров, образующихся на фланцах заготовки. Указанная методика штамповки исключает необходимость иметь штампы для каждого перехода, чем значительно сокращается количество оснастки.

Характер процесса формоизменения позволяет штамповать детали, имеющие сложную форму и элементы глубокой вытяжки, штампами простой конструкции.

На рис. 65 показаны характерные детали, штампуемые этим методом. Формообразование таких деталей в инструментальных штампах потребовало бы сложных штампов для каждого перехода.

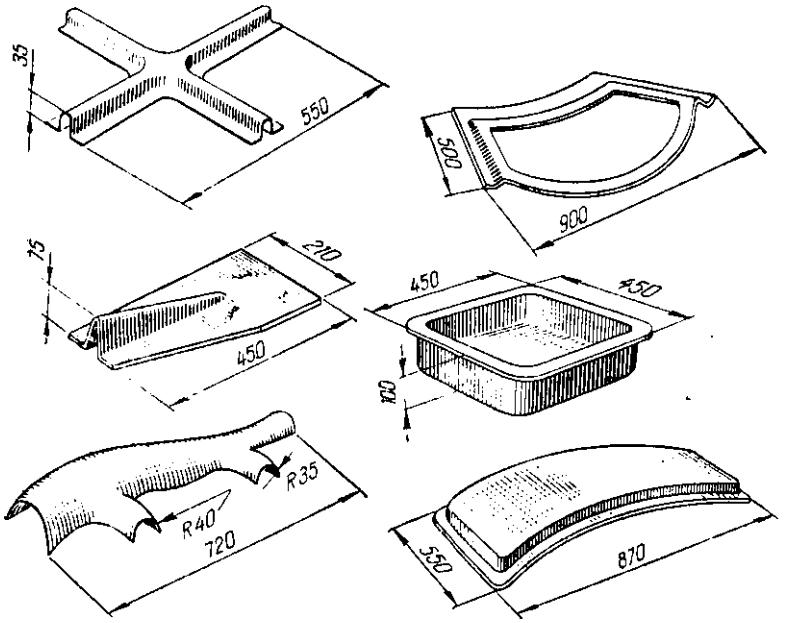


Рис. 65. Характерные детали, штампуемые на падающих молотах

Штамповку обычно ведут на листоштамповочных молотах типа МЛ (модели МЛ-8; МЛ-1,5; МЛ-2; МЛ-3; МЛ-5), которые применяют при ударной штамповке резиной (см. главу III). Матрицы и пуансоны изготовляют из твердых легкоплавких сплавов или пластмассы. Обычно стойкость штампов невели-

ка — от 100 до 500 ударов. С целью повышения съема деталей с каждого комплекта оснастки иногда применяют переходные штампы; это рекомендуется особенно при деталях сложной формы с глубокими замкнутыми и незамкнутыми выштамповками. Небольшая стойкость штампов в мелкосерийных производствах не является недостатком, поскольку ремонт штампов очень прост (см. гл. IX).

Основными достоинствами штамповки на падающих молотах являются: 1) простота и дешевизна оборудования; 2) простота и малая трудоемкость изготовления оснастки; 3) возможность штамповки нескольких переходов на одном штампе; 4) возможность штамповки деталей сложных геометрических форм, требующих большого количества сложных многопереходных штампов.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Несмотря на многообразие форм деталей, штампуемых на падающих молотах, технологический процесс их изготовления всегда состоит из следующих основных операций: 1) раскроя заготовок; 2) подготовки заготовок под штамповку; 3) штамповки; 4) калибровки; 5) доводки.

1. Раскрой заготовок

Заготовки обычно раскраивают централизованно в заготовительных отделениях листоштамповочных цехов и в зависимости от их геометрии применяют гильотиновые, роликовые или вибрационные ножницы. Разметка формы заготовки зависит от геометрии детали, однако почти всегда предусматривают припуск на обрезку. Величина припуска колеблется в пределах 20÷25 *мм* на сторону. Для упрощения раскроя стремятся придать заготовке прямолинейные очертания, если при этом излишек материала не будет ухудшать условий деформации.

Размеры заготовки следует рассчитывать, исходя из развертки детали на плоскости. Однако наличие глубокой вытяжки может существенно исказить результаты расчета. Правильность выбора заготовки определяют пробной штамповкой, после чего размеры заготовки корректируют. Для деталей, имеющих небольшую глубину вытяжки и относительно несложную форму, припуск в заготовке можно не предусматривать, однако это требует точной фиксации заготовки на матрице. Фиксацию заготовки на матрице производят по контуру заготовки или по шпилечным отверстиям, которые должны иметь строгую координацию как в заготовке, так и в штампе.

2. Подготовка заготовок под штамповку

Эта операция заключается в гибке, надрезке и разводке отдельных мест заготовки, что облегчает дальнейшее ее формоизменение в штампе. Этим сокращают количество переходов при штамповке и уменьшают гофрообразование. Обычно такую подготовку ведут для заготовок из толстых листовых материалов (свыше 2—3 *мм*).

3. Штамповка

Известно два способа штамповки: с вытяжкой или с обжимом (рис. 66).

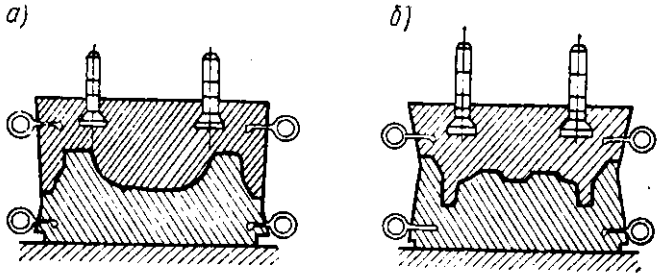


Рис. 66. Схемы штамповки:
а — с вытяжкой; *б* — с обжимом

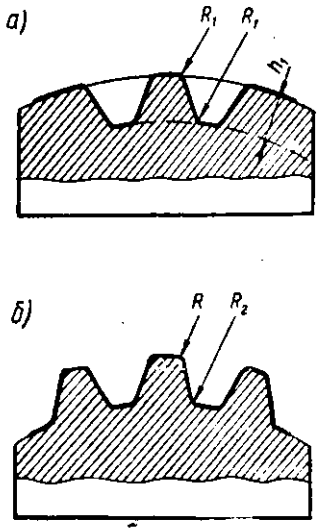


Рис. 67. Схема многопереходной штамповки:
а — первый переход; *б* — второй переход

При штамповке с вытяжкой выпуклая часть детали направлена вниз, и матрицу закрепляют на столе молота; при штамповке с обжимом выпуклая часть детали направлена вверх, и матрицу закрепляют на стесселе молота. Первый способ позволяет лучше укладывать заготовку на матрице и дает возможность править гофры, не снимая детали с матрицы. Этот способ целесообразен при штамповке деталей, требующих глубокой вытяжки.

Второй способ применяют при штамповке деталей, имеющих неглубокую вытяжку, при достаточно сложных поверхностных контурах.

Многопереходная штамповка деталей сложной формы показана на рис. 67.

Как видно на рисунке, радиусы R_1 больше радиусов R_2

Обычно принимают $R_1 > R_2$. При $R_1 = 2R_2$ улучшаются условия подачи материала в выемки. С этой же целью размер углубления h_1 принимают на 5÷8% меньше того же размера по второму переходу. Рационально в этом случае штампы первого перехода делать по схеме вытяжки, а второго — по схеме обжима.

4. Калибровка

Доведения детали до размеров, указанных на чертеже, достигают одним-двумя ударами максимальной силы. Ударный характер приложения нагрузки снижает эффект отпружинивания, что позволяет сузить допуски на размеры детали.

5. Доводка

Доводка детали включает удаление припусков на внешних и внутренних контурах детали, повышение чистоты поверхности и сверление отверстий, если они необходимы. Иногда производят доводку формы, которую в ряде случаев выполняют непосредственно перед сборкой, поскольку с течением времени под влиянием внутренних напряжений деталь может изменить свою геометрию.

Уменьшения доводочных работ достигают тщательной обработкой поверхности матрицы, учетом углов пружинения, калибровкой детали из дуралюмина в свежезакаленном состоянии и применением точных заготовок с надежной фиксацией их на матрице.

При штамповке магниевых сплавов необходим подогрев заготовок до температуры 320÷340 ° С в воздушных электропечах. В ряде случаев в матрицах предусматривают сквозные отверстия, в которые вставляют трубчатые электронагреватели. Этим достигают нагрева матрицы; нагретая заготовка, уложенная на матрицы, не охлаждается. Для обеспечения безопасных условий труда ограничиваются напряжением 40 *в*, подаваемым на электронагреватели.

Температуру матрицы регулируют терморегуляторами с термопарами. Вследствие падения сопротивления разрыву материала при нагреве промежуточные удары должны быть ослабленными, и только калибрующие удары могут быть сильными. При штамповке магниевых сплавов рекомендуют применять смазку, состоящую из 40% масла «Вапор» и 60% стеарата натрия. При указанных температурах смазка хорошо расплавляется, при 20 ° С она затвердевает.

Глава V

ГИДРОШТАМПОВКА

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гидроштамповка является процессом формообразования деталей из листового металла с помощью жидкости под высоким давлением. Жидкость, выполняя роль универсального пуансона, воздействует на заготовку, деформирует ее, придает контуры матрицы.

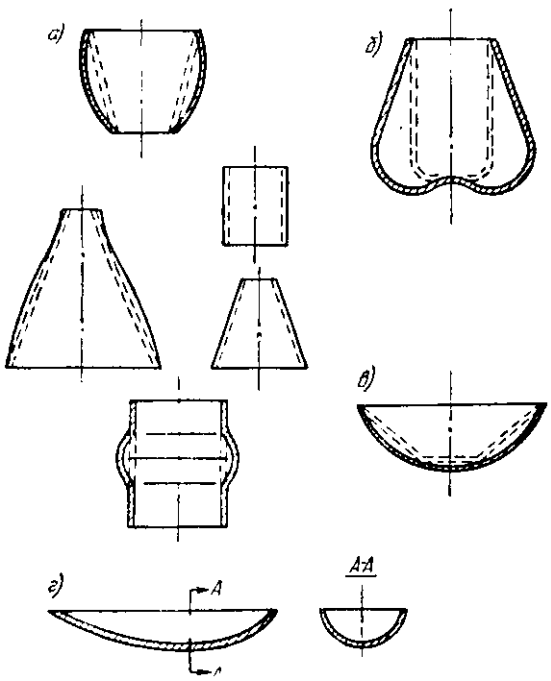


Рис. 68. Классификация деталей, штампуемых методом гидроштамповки:

а — детали I класса; *б* — детали II класса; *в* — детали III класса; *г* — детали IV класса

Метод гидроштамповки применяют при формообразовании крупногабаритных тонкостенных деталей, имеющих достаточно большие и плавные радиусы сопряжения поверхностей.

С конструктивно-технологической стороны детали, изготовляемые гидроштамповкой, можно подразделить на четыре класса:

I класс — тонкостенные детали формы тел вращения, штампуемые из заготовок конической или цилиндрической формы с отверстиями с обеих сторон (рис. 68, *а*);

II класс — то же, но с отверстиями в деталях с одной стороны (рис. 68, *б*);

III класс — тонкостенные детали типа днищ и сфер, штампуемых из плоских или сварных заготовок формы усеченного конуса с малым соотношением h/D, где h — высота конуса, а D — диаметр основания (рис. 68, *в*);

IV класс — детали типа листов обшивки, штампуемых из листовых заготовок (рис. 68, *г*).

Процесс формоизменения может происходить за счет утонения материала без перемещения и с перемещением фланца (рис. 69).

Различают две разновидности схем гидроштамповки. По первой схеме жидкость воздействует непосредственно на заго-

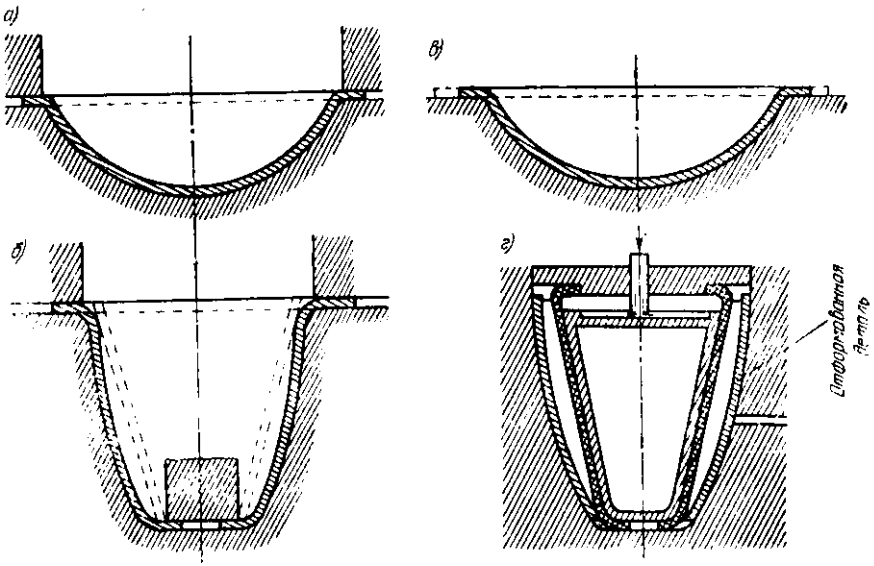


Рис. 69. Принципиальные схемы гидроштамповки:
а и *б* — без перемещения фланца; *в* и *г* — с перемещением фланца

товку детали (рис. 69, *а*, *б*, *в*), по второй схеме жидкость воздействует на заготовку через диафрагму (рис. 69, *г*).

Метод гидроштамповки рационально применять для штамповки деталей из материалов, обладающих относительно невысоким сопротивлением разрыву ($\sigma_в \leqslant 40 \div 60$ *кГ/мм*^{2}). Детали можно изготовлять из цветных и черных металлов, но при относительно небольших толщинах (2—3 *мм*) и диаметре (300÷÷400 *мм*). Высота изготовляемых деталей может быть до 2 *м*.

Для формообразования деталей со стенками больших толщин или меньших диаметров метод гидроштамповки хотя и применим, но менее рационален, так как он требует большого давления жидкости, что связано с необходимостью повышения прочности матриц, в которых производится штамповка, и значительного усложнения их конструкции.

В случае нерациональности применения метода гидроштамповки переходят на метод штамповки разжимными пуансонами.

Опыт и соответствующие расчеты показали, что при годовой программе более 1 500 *шт* применение гидроштамповки экономически вполне оправдывается.

Гидроштамповка имеет следующие достоинства: 1) возможность изготовления крупных деталей без применения мощных прессов; 2) простота оснастки, малая ее стоимость и небольшая трудоемкость изготовления; 3) наличие одного жесткого формоизменяющего элемента — матрицы; 4) возможность изготовления деталей, размеры которых увеличиваются у дна, однако в этом случае необходимы матрицы с разъемом по образующей или по максимальному сечению; 5) высокая точность отштампованных деталей (гидроштамповка применима для калибровки). В ряде случаев гидроштамповку применяют при калибровке деталей, отштампованных другими методами.

§ 2. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В МАТЕРИАЛЕ ЗАГОТОВКИ

Процесс формоизменения при гидроштамповке включает три стадии: начальную, промежуточную и конечную (рис. 70, *а*, *б*, *в*). Деформирование заготовки начинается в зоне, имеющей больший диаметр, и далее процесс распространяется на смежные зоны.

При деформировании цилиндрических заготовок процесс формоизменения начинается с центральной части, распространяясь к торцам.

Рассмотрение напряжений и деформаций в материале заготовки объясняет эти явления и, кроме того, дает возможность определить необходимую величину давления жидкости. В результате воздействия давления Q на коническую заготов-

ку в ней возникают напряжения: растягивающие σ_y в меридиональном и σ_x — в тангенциальном направлениях (рис. 71). Деформация заготовки происходит по трем направлениям (главным осям деформации).

В тангенциальном направлении (ось X) действует деформация, характеризующая основное формоизменение заготовки. Обозначим относительную деформацию по оси X через ε_x и соответственно ε_y и ε_z — по осям Y и Z.

Относительную деформацию ε_x можно выразить через отношение разности длин окружностей детали и заготовки, проходящих через одну и ту же точку на их поверхностях, к длине окружности заготовки, т. е.

$$\varepsilon_x = \frac{2\pi r_д - 2\pi r_з}{2\pi r_з} = \frac{r_д - r_з}{r_з}, \qquad (52)$$

где $r_з$ — радиус заготовки в данной точке;

$r_д$ — радиус детали в той же точке.

Максимальное значение ε_x будет в том месте, где разность радиусов детали и заготовки будет наибольшей.

Чтобы ε_x не превысило значения относительного удлинения δ для данного материала, необходимо произвести проверочный расчет. Поскольку заготовки обычно имеют сварной шов по образующей, пластичность которого на 15÷20% ниже, чем основной металл, допустимое максимальное значение ε_x должно удовлетворять соотношению:

$$\varepsilon_{x\,макс} \leqslant 0{,}8\delta.$$

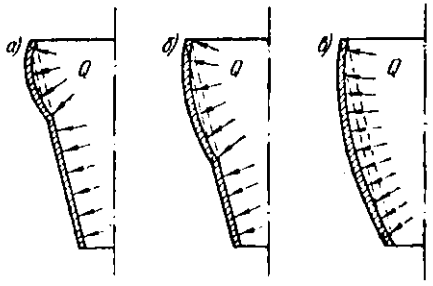


Рис. 70. Стадии процесса формоизменения заготовки

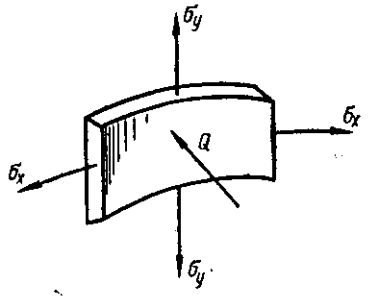


Рис. 71. Схема напряжений и деформаций, действующих на заготовку при гидроштамповке

Если это соотношение не выдерживается, заготовка должна иметь образующую в виде ломаной линии, что резко уменьшит разность радиусов, а следовательно, и максимальное значение ε_x (рис. 72). Точку на образующей, имеющую макси-

мальную разность радиусов, находят графическим методом. Для этого вычерчивают образующую в масштабе 1 : 1 или 1 : 2 и разбивают ее на 5—10 участков. Затем измерениями находят максимальную разницу радиусов.

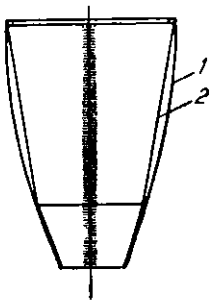


Рис. 72. Схема заготовки с ломаной образующей: *1* — деталь; *2* — заготовка

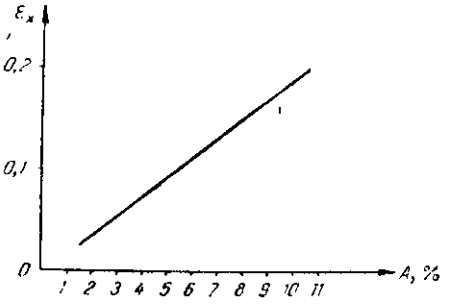


Рис. 73. График зависимости утонения металла от относительной деформации по оси *X*

Относительная деформация в направлении *z* (радиальном), характеризующая утонение материала, может быть выражена формулой:

$$\varepsilon_z = \frac{S_д - S_з}{S_з}, \qquad (53)$$

где $S_д$ — толщина стенки детали;

$S_з$ — толщина стенки заготовки.

Максимальное утонение $\varepsilon_{z\,макс}$ будет соответствовать участку с максимальной деформацией по оси *X*. Относительная деформация в направлении *Y*, характеризующая изменение длины образующей, выражается соотношением:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_x \frac{2\sigma_y - \sigma_x}{2\sigma_x - \sigma_y}. \qquad (54)$$

Удлинение образующей ($+\varepsilon_y$) будет при деформировании без перемещения фланца. В том случае, когда перемещение краев заготовки свободно, образующая будет укорачиваться ($-\varepsilon_y$). При формоизменении конусных заготовок формообразование происходит в основном за счет деформации по оси *X*, что определяет утонение материала. Следует отметить, что между относительной деформацией ε_x и величиной *A*, выражающей утонение металла в процентах, существует прямоли-

нейная зависимость. На рис. 73 дан график этой зависимости. Такая зависимость является приближенной, но достаточной для практических целей.

При свободном перемещении края заготовки (схема с диафрагмой в виде резинового мешка) укорачивается образующая, которая также может быть выражена линейной зависимостью от ε_x. На рис. 74 приведен график зависимости утяжки $\Delta l\%$ от относительной деформации ε_x.

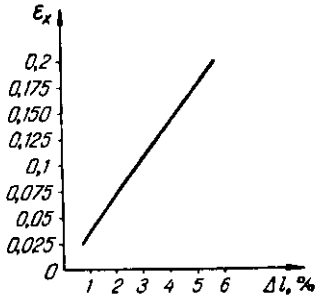


Рис. 74. График изменения длины образующей заготовки в зависимости от относительной деформации по оси X

Необходимую величину давления для формообразования деталей из конических и цилиндрических заготовок рассчитывают по формуле:

$$Q = \frac{1{,}15\,(\sigma_s + D_{уп})\,S_x}{R_2\left(1 - \dfrac{r_x^2 - r_0^2}{2r_1R_1\sin\theta}\right)}, \qquad (55)$$

где Q — давление, необходимое для формообразования детали, $кГ/мм^2$;

σ_s — предел текучести при линейном растяжении;

$D_{уп}$ — модуль упрочнения (табл. 12);

S_x — толщина деформированной оболочки (в зависимости от степени деформации E_x);

R_1 и R_2 — радиусы (рис. 75, *а*);

r_x и r_0 — радиусы (рис. 75, *а*).

Таблица 12

Значение модуля упрочнения

Марка материала	$D_{уп}$, $кГ/мм^2$
АМцАМ	37
АМгМ	77
С20	140
1Х18Н9Т	240

Эта формула получена из условий равновесия некоторого элементарного элемента, вырезанного из оболочки (рис. 75, *б*).

При проектировании всех действующих сил на нормаль получим:

$$Qdl_1dl_2 - \sigma_y dl_1 S_x d\theta - \sigma_x dl_2 S_x d\varphi = 0. \qquad (56)$$

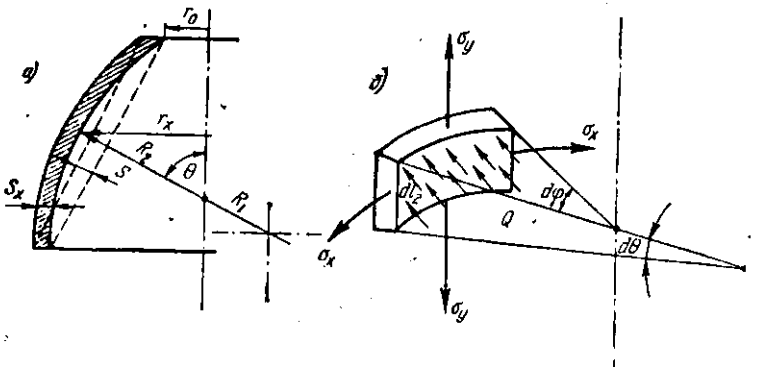


Рис. 75. Схема напряжений и деформаций, действующих на заготовку:

а — общий вид формуемой оболочки; *б* — элементарный элемент, вырезанный из оболочки

Так как

$$d\theta = \frac{dl_2}{R_1} \quad \text{и} \quad d\varphi = \frac{dl_1}{R_2},$$

то

$$Q dl_1\, dl_2 - \sigma_y\, dl_1\, S_x \frac{dl_2}{R_1} - \sigma_x\, dl_2 S_x \frac{dl_1}{R_2} = 0. \qquad (57)$$

Из условий равновесия элементарного элемента, вырезанного из оболочки, при проектировании сил на ось Y получим:

$$Q(\pi r_x^2 + \pi r_0^2) = \sigma_y 2D_{\text{уп}} r_x S_x \sin\theta, \qquad (58)$$

откуда

$$\sigma_y = \frac{Q(r_x^2 - r_0^2)}{2r_x S_x \sin\theta}, \qquad (59)$$

подставляем значение σ_y в первую формулу:

$$Q dl_1 dl_2 - \frac{Q(r_x^2 - r_0^2)\, dl_1 S_x dl_2}{2r_x S_x \sin\theta R_1} = \sigma_x \frac{d_{l_2} S_x dl_1}{R_2} = 0. \qquad (60)$$

Сокращаем на $dl_1 dl_2$:

$$Q - \frac{Q(r_x^2 - r_0^2)}{2r_x R_1 \sin\theta} - \sigma_1 \frac{S_x}{R_2} = 0, \qquad (61)$$

откуда

$$Q = \frac{\sigma_x \cdot S_x}{R_2\left(1 - \dfrac{r_x^2 - r_0^2}{2r_x R_1 \sin\theta}\right)}. \qquad (62)$$

Для ориентировочных подсчетов можно использовать упрощенную формулу:

$$Q = \frac{\sigma_в S_0}{R_2}, \qquad (63)$$

где $\sigma_в$ — предел прочности на разрыв;
S_0 — толщина заготовки;
R_2 — радиус детали (по образующей) (см. рис. 75, *а*).

§ 3. ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ ГИДРОШТАМПОВКЕ

В соответствии с классификацией деталей, изготовляемых гидроштамповкой, разработаны установки для формообразования деталей.

1. Установка для изготовления полых деталей формы тел вращения (без дна) с непосредственным воздействием жидкости на заготовку

Эту установку применяют для формообразования деталей II класса. Края заготовки при ее формоизменении не перемещаются. Установка показана на рис. 76: корпус *1* матрицы облицован внутри слоем пластмассы. Крышка корпуса матрицы оборудована пневматическим устройством, обеспечивающим герметизацию полости *А* от полости *В*. Пневматический цилиндр *3* закреплен на зажимном диске *12*, имеющем резиновый обод *10*. Поршень *9*, снабжен полым штоком *8*, через который проходит направляющая *7*. В нижней части шток оборудован вторым диском *6* с резиновым ободом *5*. При впуске воздуха в полость над поршнем верхний и нижний диски упираются резиновыми ободами соответственно в верхнюю крышку и дно корпуса матрицы.

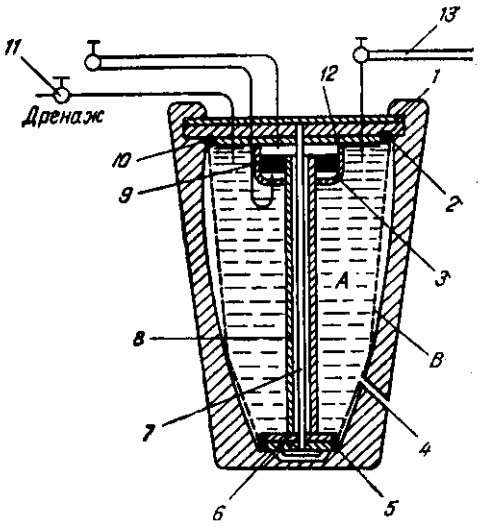


Рис. 76. Схема установки для гидроштамповки полых деталей типа тел вращения (без дна)

Резина при этом зажимает края заготовки и герметизирует полость *А* от полости *В*.

Крышка матрицы имеет запорные устройства, удерживающие ее на месте. Крышка и запорные устройства воспринимают все усилия при штамповке.

При установке заготовки матрица должна быть заполнена водой. В полость *А* через патрубок *11* подается жидкость под высоким давлением. Некоторое количество оставшегося воздуха в полости *А* выпускается через вентиль *13*. Вода, находящаяся в полости *В* при формировании заготовки, выжимается через отверстия *4*.

По доведении давления жидкости в полости *А* до заданной величины давление снижается, открывается крышка матрицы, и при помощи тельфера крышка с пневмоустройством извлекается из матрицы. Затем извлекают отштампованную деталь и закладывают новую заготовку. Спуск воды из матрицы не нужен.

2. Установка для подачи воды под высоким давлением в полость матрицы

Установка (рис. 77) состоит из баллона *1*, содержащего сжатый воздух под давлением 200 *ат*, баллона *3* с водой давлением 15—20 *ат* и системы трубопроводов с вентелями. Трубопровод от вентиля *5* присоединяют к установке. Через него подают воду под высоким давлением в полость матрицы. Для

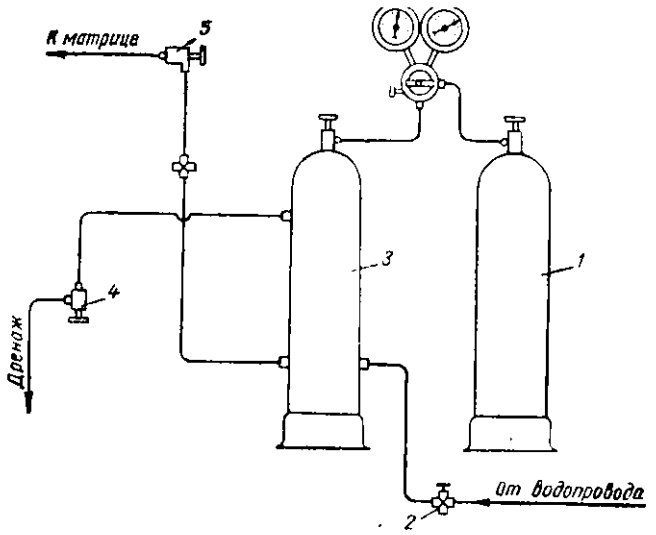


Рис. 77. Схема установки для подачи воды под высоким давлением

этого открывают вентиль редуктора, и сжатый воздух через него поступает в баллон *3*, выдавливая из него воду в трубопровод, ведущий к матрице. При доведении давления до заданного вентиль редуктора закрывают и сжатый воздух выпускают через вентиль *4*. Затем закрывают вентиль *5*, отсоединяя установку от полости матрицы, и открывают вентиль *2* для заполнения баллона *3* водой из водопроводной сети. Далее вентиль *2* и *4* закрывают, и установка для подачи воды под давлением готова к следующему циклу штамповки. Все вентили, а также контрольные манометры размещают на пульте управления, расположенном вблизи матрицы. Для создания давления в полости матрицы можно применять гидронасосные установки с аккумуляторами.

3. Установка для изготовления полых деталей (с дном и без дна) формы тел вращения с воздействием жидкости на заготовку через диафрагму.

Эту установку применяют для формирования деталей I и II классов. При формоизменении перемещаются края заготовки детали. Установка показана на рис. 78. Корпус *1* матрицы внутри облицован пластмассой. Он закрывается крышкой *2*, к которой прикреплен резиновый мешок (диафрагма) *3*. В резиновом мешке расположен кожух *4*. При подаче через штуцер воды под давлением вода заполняет щель *5* и поступает в полость между кожухом и диафрагмой. Диафрагма раздувается и воздействует на заготовку *6*, деформирует ее и придает необходимые контуры матрице. За счет удлинения резинового мешка по образующим нижний торец диафрагмы прижимается к дну матрицы. Если заготовка имеет внутреннюю отбортовку в нижней части, торец диафрагмы соз-

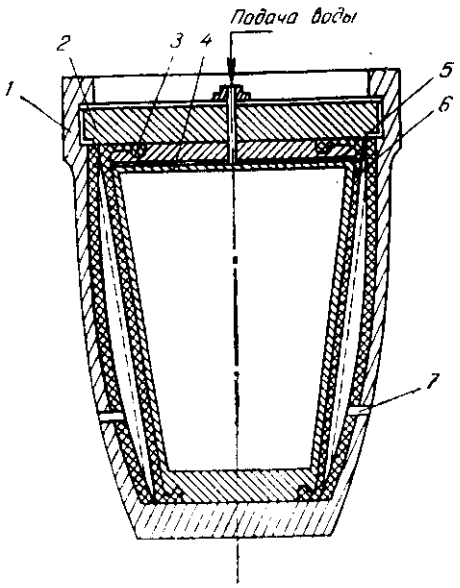


Рис. 78. Схема установки для гидроштамповки полых деталей формы тел вращения с дном и без дна

дает уплотнение. Наличие кожуха резко уменьшает расход воды под высоким давлением. Воздух из полости между заготовкой и корпусом при штамповке выпускается через отверстия 7. Вода под высоким давлением подается по баллонной схеме или от гидроаккумулятора с насосом высокого давления.

4. Установка для изготовления деталей типа днищ и сфер

Такая установка используется обычно при штамповке крупногабаритных деталей (рис. 79). Установка состоит из следующих основных частей: корпуса *1*, матрицы *2*, крышки *3*, закрепляемой болтами или пневмоклиновыми запорами, предохранительного клапана *4*, дренажного клапана *5*, трубопровода высокого давления *6*, спускного трубопровода *7*, уплотнительного кольца *8*, облицованного слоем резины толщиной 1 *мм*.

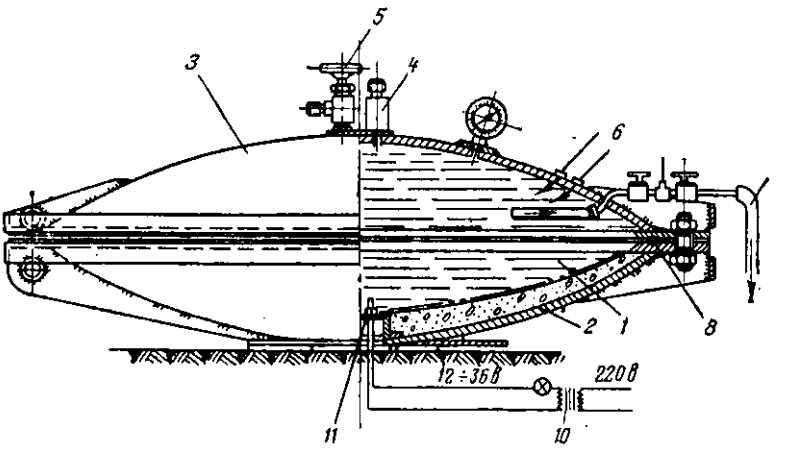


Рис. 79. Схема установки для гидроштамповки деталей типа днищ и сфер

Работа установки аналогична работе рассмотренных установок. В матрицу закладывают листовую заготовку или заготовку типа усеченного конуса (рис. 80). Далее закрывают крышку, полость матрицы заполняют водой под высоким давлением для штамповки. Величину давления контролируют манометром. На такой установке можно изготовлять детали из металла толщиной 1,5—2,5 *мм*, диаметром до 2,5 *м* и глубиной до 300 *мм*. Утонение материала при плоских заготовках порядка 10—15%. Если заготовка имеет форму усеченного конуса, то утонение значительно меньше.

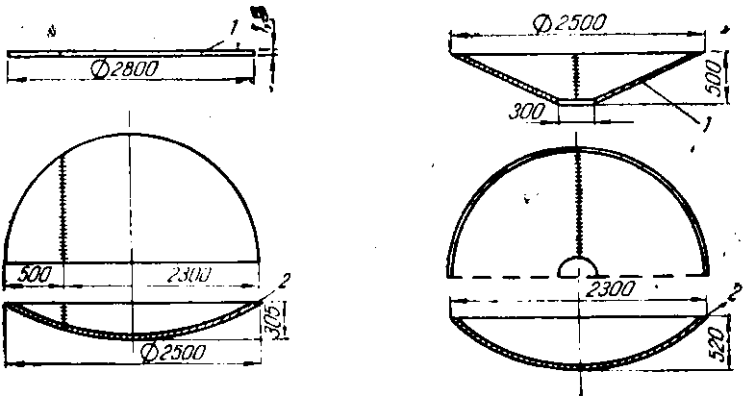


Рис. 80. Заготовки *(1)* и детали *(2)* типа днищ и сфер

5. Установка для изготовления деталей типа обшивок

Конструкция установки очень проста. Она может быть рекомендована даже при небольших сериях деталей (рис. 81). Корпус матрицы изготовляют из швеллера *1*, в который вставляют деревянную матрицу *2*. Сверху помещают крышку *3*, за-

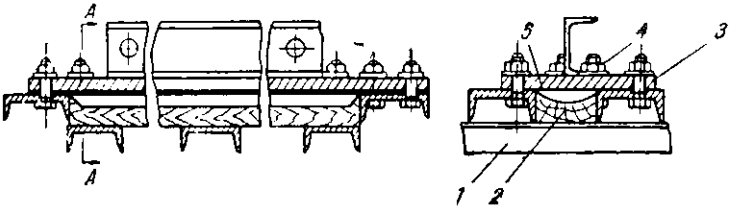


Рис. 81. Схема установки для гидроштамповки деталей типа обшивок

крепляемую болтами. В крышку вводят штуцер *4* для подачи жидкости под давлением. Сверху крышки приваривают швеллер, что придает ей большую жесткость. Крышку по периметру уплотняют резиновой прокладкой *5*. Как вариант, можно применять резиновую диафрагму, которая одновременно будет являться уплотняющей прокладкой. Принцип работы данной установки и установок, описанных выше, аналогичен.

§ 4. ОСНАСТКА, ОСОБЕННОСТИ ЕЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Корпусы матриц, крышки и запоры крышек, применяемых при гидроштамповке, должны быть рассчитаны на полное максимальное давление, необходимое при штамповке. При расчете облицовку матриц не учитывают, поскольку ее изготовляют из материалов, имеющих небольшой предел прочности на разрыв.

Корпусы матриц можно изготовлять литыми или сварными. В них рекомендуется делать съемное дно, что облегчает монтаж. Дно матрицы устанавливают на резиновой прокладке. Один и тот же корпус можно использовать для штамповки различных деталей при смене облицовки матрицы и некоторой переделке уплотняющих устройств.

Облицовку обычно изготовляют из глиноземистого цемента (одна часть) с добавкой чистого песка (2 части) или из пескоклеевой массы ПСК.

Обводы матрицы формуют по модели детали, выполненной в виде деревянной болванки, имеющей наружные контуры детали с припуском на толщину металла облицовки (рис. 82). Болванку центрируют в матрице по установочным кольцам. В прорези верхнего кольца заливают пескоцементную или пескоклеевую массу. После затвердевания болванку и кольцо извлекают и устанавливают дно матрицы.

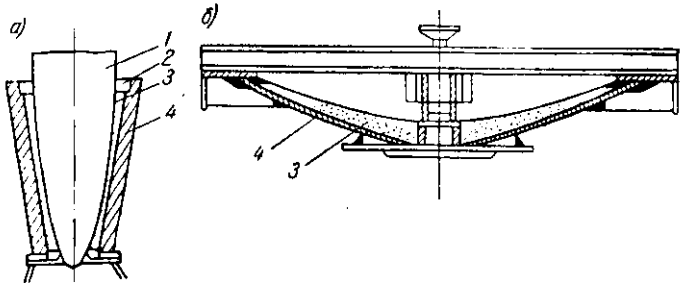


Рис. 82. Схема изготовления матрицы:
а — для деталей типа тел вращения; *б* — для деталей типа днищ и сфер; *1* — болванка; *2* — установочное кольцо; *3* — облицовка матрицы; *4* — корпус матрицы

Если форма детали имеет уширение по диаметру, то матрицы изготовляют с разъемом по образующим или по максимальному диаметру.

Матрица должна иметь замки, а также устройства, фиксирующие обе половинки матрицы в необходимом взаимном положении.

Листовой металл для заготовок деталей раскраивают на гильотинных (при прямых резах) или на роликовых (при обрезке по кривым) ножницах.

Обечайки свертывают на трехвалковых станках.

Наиболее рациональным способом сварки обечаек по образующей является сварка в струе защитного газа (аргонно-дуговая).

Конические заготовки должны иметь припуски по образующей величиной 25÷30 *мм* для зажатия зажимными устройствами. При отбортовке фланца припуск должен составлять

10—12 *мм*. В местах соприкосновения заготовки с матрицей диаметр заготовки должен быть менее (1—1,5 *мм*) диаметра матрицы.

При формообразовании деталей с применением резинового мешка (диафрагмы) длину образующей заготовки определяют по формуле:

$$L = L_0(1 + \Delta L) + B, \tag{64}$$

где L — длина образующей заготовки;
L — длина образующей детали по чертежу;
ΔL — уменьшение длины образующей в зависимости от степени деформации (рис. 83);
B — припуск на обрезку (8—15 *мм*).

Фланцы при гидроштамповке с применением диафрагмы не делают.

При расчетах размеров матриц следует учитывать упругие деформации, которые будут проявляться после снятия давления. Диаметры матрицы должны быть несколько больше диаметров детали по чертежу. Размеры матрицы рассчитывают по формуле:

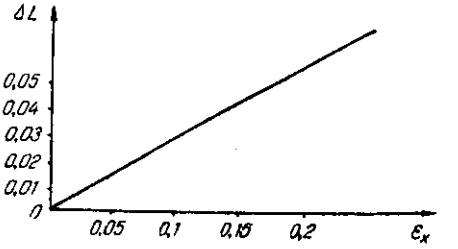


Рис. 83. График зависимости утяжки по образующей от степени деформации

$$D_м = D_д(1 + e), \tag{65}$$

где $D_м$ — искомый диаметр матрицы;
$D_д$ — диаметр детали по чертежу;
e — упругая деформация.

Упругую деформацию подсчитывают по формуле:

$$e = \frac{\sigma}{E} \cdot A, \tag{66}$$

σ — истинное напряжение;
E — модуль упругости;
A — коэффициент, равный для сплавов алюминия 1,5 и для сталей типа 18—8, равный 2.

Истинное напряжение σ можно определить по формуле:

$$\sigma = \sigma_s + \varepsilon_x D_{уп}, \tag{67}$$

где σ_s — предел текучести;
ε_x — деформация в тангенциальном направлении;
$D_{уп}$ — модуль упрочнения, определяемый по табл. 12.

Глава VI

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРОФИЛЬНОГО И ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРЕССАХ И СТАНКАХ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для изготовления деталей из профильного и листового металла применяют специальные прессы и станки.

Формообразование деталей выполняют на этом оборудовании при помощи одного формоизменяющего элемента обычно весьма простой конструкции и в ряде случаев универсального, поэтому при переходе на выпуск других деталей не требуется длительного времени для изготовления оснастки.

Некоторые конструкции станков при этом требуют только соответствующей переналадки. Эти специфические особенности специальных станков и прессов полностью обеспечивают гибкость производства.

При малых толщинах материала и больших радиусах кривизны деталей обеспечить формообразование их крайне затруднительно, поскольку степень деформации заготовки находится в пределах упругих деформаций и по снятии формоизменяющих усилий деталь распрямляется. Такие детали успешно штампуют на специальных прессах.

Специальные прессы и станки можно классифицировать согласно схеме, приведенной на рис. 84. Как видно из рис. 84, на этом оборудовании возможно формообразование деталей из профилей и листового металла, причем формообразование может быть с предварительным растяжением металла или без него.

Предварительное растяжение металла снижает гофрообразование и несколько уменьшает углы отпружинивания.

На перечисленном в схеме оборудовании возможны гибка, гибка с растяжением и обтяжка. На таких прессах и станках изготовляют преимущественно из листа детали типа обшивок и детали из профилей поперечного и продольного силового набора.

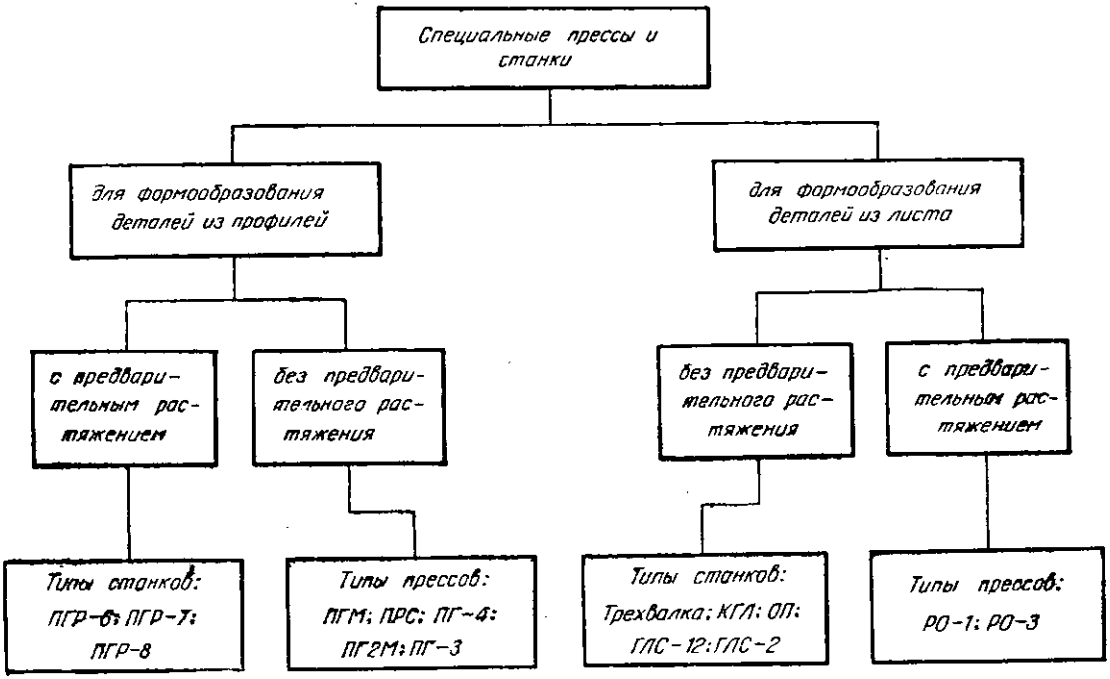


Рис. 84. Классификация специальных прессов и станков

§ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ГИБКИ С РАСТЯЖЕНИЕМ

При гибке в металле в зоне изгиба возникают растягивающие и снижающие напряжения. На рис. 85, *а* и *б* изображена полоса металла до и после гибки.

Рассматривая заготовку до и после изгиба, нетрудно увидеть, что отрезки

$$a_1b_1 = a_0b_0 = a_2b_2.$$

После изгиба эти отрезки превратятся в дуги. Примем

$$\smile a_2b_2 < a_0b_0 < a_1b_1.$$

Это показывает, что с наружной стороны от средней линии a_0b_0 возникают растягивающие напряжения, а с внутренней стороны — сжимающие.

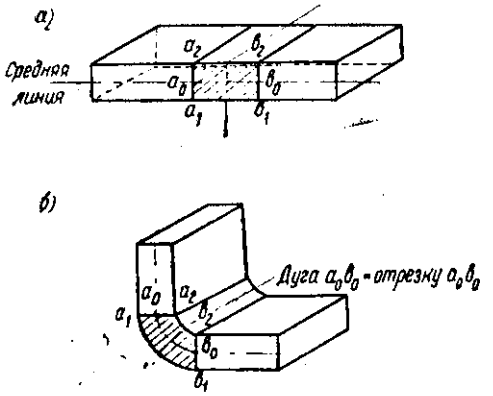


Рис. 85. Схема гибки без растяжения

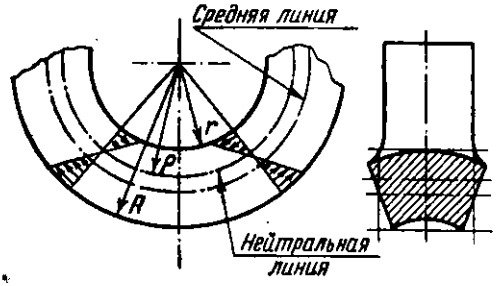


Рис. 86. Схема напряжений и искажений в зоне гиба

В действительности явления при изгибе имеют более сложный характер. Вследствие сжимающих и растягивающих напряжений поперечное сечение изгибаемой полосы искажается (рис. 86), при этом нейтральная линия (линия, на которой отсутствуют напряжения) смещается со средней линии в сторону сжимающих напряжений тем больше, чем больше толщина полосы.

Степень искажения зависит от толщины изгибаемой заготовки и ее ширины. Чем больше толщина и меньше ширина изгибаемой полосы, тем больше искажение.

Специальные прессы предназначены для формоизменения заготовок относительно небольшой толщины и большой ширины. Это позволяет не считаться в практике с искажениями.

Заготовки вследствие пластических деформаций принимают изогнутую форму. Однако пластические деформации всегда сопровождаются упругими. Чем ближе слои к нейтральной линии, тем меньше в них напряжения. Следовательно, существуют слои, которые имеют напряжения, соответствующие упругим деформациям. После снятия изгибающих деталей упругие деформации вызовут явление отпружинивания, т. е. распрямление детали на некоторый угол. Кроме того, при определенных условиях возможно гофрообразование в сжатых зонах (рис. 87).

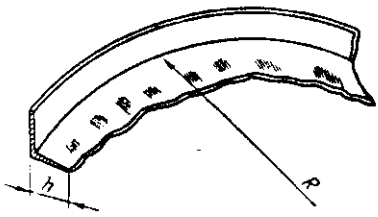


Рис. 87. Гофрообразование при гибке от сжимающих напряжений

Гибка с растяжением характерна тем, что в изгибаемой заготовке растягивающие напряжения доводят до значений, близких к σ_s.

В этом случае нейтральная линия окажется за пределами сечения изгибаемой заготовки, т. е. в сечении возникнут только напряжения растяжения (рис. 88).

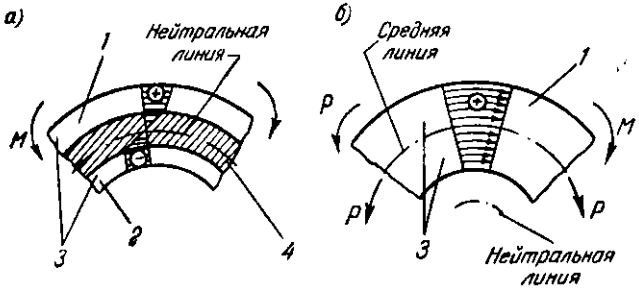


Рис. 88. Схема напряжений при гибке:

а — без растяжения; *б* — с растяжением; *1* — зона растяжения, *2* — зона сжатия; *3* — зона пластических деформаций; *4* — зона упругих деформаций

Предварительное растяжение предотвращает образование гофров — явление, неизбежное при простой гибке фасонного профиля, имеющего высокую полку плоскости изгиба.

Суммарная деформация от напряжения, возникающего при гибке с растяжением, должна быть меньше δ (относительного удлинения).

На практике суммарную деформацию не рекомендуют принимать больше 8%. Это исключает возможный разрыв профиля. Предварительное удлинение заготовки выбирают в зависимости от величины отношения R/h (называемого относительным радиусом кривизны) по графику, показанному на рис. 89. При значениях R/h в пределах от 6 до 20 гибка с растяжением не дает гофрообразования.

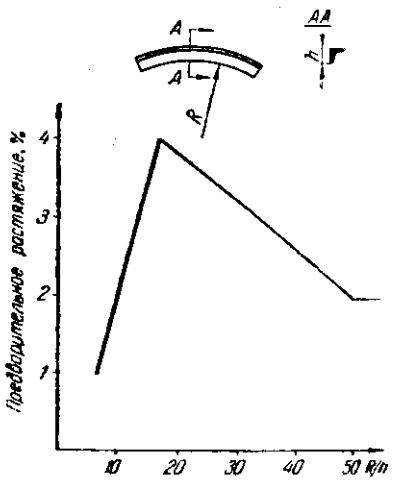


Рис. 89. График для определения предварительного растяжения

Гибка деталей с относительным радиусом кривизны от 20 и выше требует меньшего относительного удлинения, так как увеличение его не повышает точности детали.

Гибку с растяжением выполняют при помощи одного формоизменяющего элемента — пуансона — согласно схеме (рис. 90, *б*). Усилие предварительного растяжения рассчитывают по формуле:

$$P_{пр} = F\sigma_s, \tag{68}$$

где F — площадь поперечного сечения, $мм^2$;
σ_s — предел текучести при растяжении, $кГ/мм^2$.

Усиление калибровки приближенно определяют по формуле:

$$P_к = 0{,}9F\sigma_в, \tag{69}$$

где $\sigma_в$ — предел прочности, $кГ/мм^2$.

Наилучшие результаты получаются в том случае, когда усилия растяжения по всему сечению несколько больше напряжений, соответствующих упругим деформациям. При снятии нагрузки в этом случае деталь только несколько укоротится, но сохранит полученную кривизну. Однако при большой высоте полок разница в деформациях наружных волокон будет настолько велика, что в то время как на внутренних участках напряжение будет находиться вблизи границ упругости, на наружных участках начнется разрушение. В этих случаях приходится растягивающие усилия ограничивать и доводить их только до пределов, при которых напряжение на внешних участках сечения не будет достигать разрушающих значений.

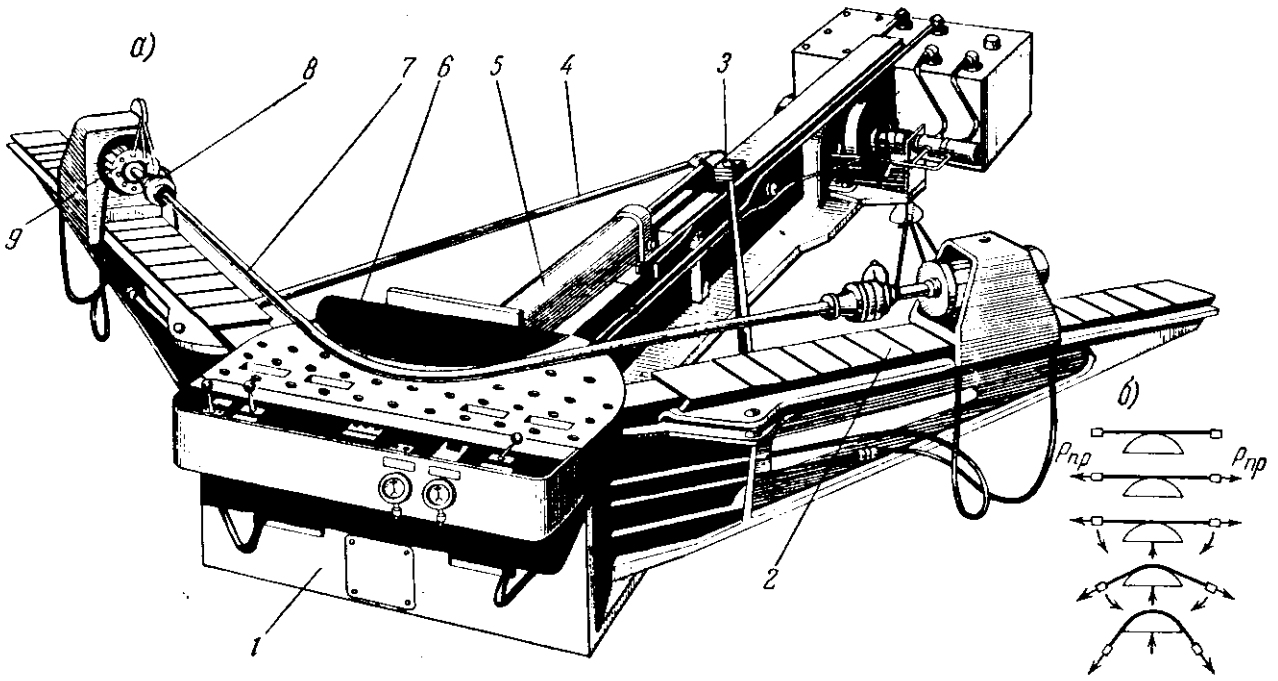


Рис. 90. Станок для гибки с растяжением деталей из профилей типа ПГР-6:

а — общий вид; *б* — схема гибки

§ 3. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ ТИПА ПГР

Гибку с растяжением профильных деталей выполняют на станках типа ПГР. На них изготовляют детали с углом гиба не более 180°.

Существует несколько разновидностей этих станков (ПГР-6; ПГР-7; ПГР-8), работающих по одному принципу. Наиболее конструктивно проста модель ПГР-6.

Конструктивная схема станка (рис. 90) сводится к следующему: на станине *1* закреплены две вертикальных оси, вокруг которых поворачиваются крылья *2*. Крылья поворачиваются тягами *4*, шарнирно закрепленными на конце штока поршня *3*, движущегося в цилиндре *5*. На цилиндре установлена оправка — пуансон *6*, по которому изгибается заготовка *7*, закрепленная концами в пневматических цангах *8*. Цанги насажены на штоки поршней растяжных цилиндров *9*. Последние можно переставлять на крыльях в зависимости от длины заготовки.

Работа начинается с установки заготовки на станке. Концы прямолинейной заготовки (из профильного металла) закрепляют в цангах. В растяжные цилиндры под высоким давлением подается жидкость, и заготовка растягивается. По достижении напряжений должной величны, возникающих в заготовке, в цилиндр *5* подается жидкость под высоким давлением. Пуансон нажимает на профильную заготовку. Шарнирное соединение тяг и поршня скользит по направляющим станкам, а шток поршня, двигаясь в обратную сторону, тягами сводит крылья на заданный угол, при этом заготовка обтягивается по пуансону.

В процессе гибки растягивающие усилия несколько повышаются. Весь процесс работы станка автоматизирован. Станок, налаженный на гибку какой-либо детали, работает далее по полуавтоматической схеме.

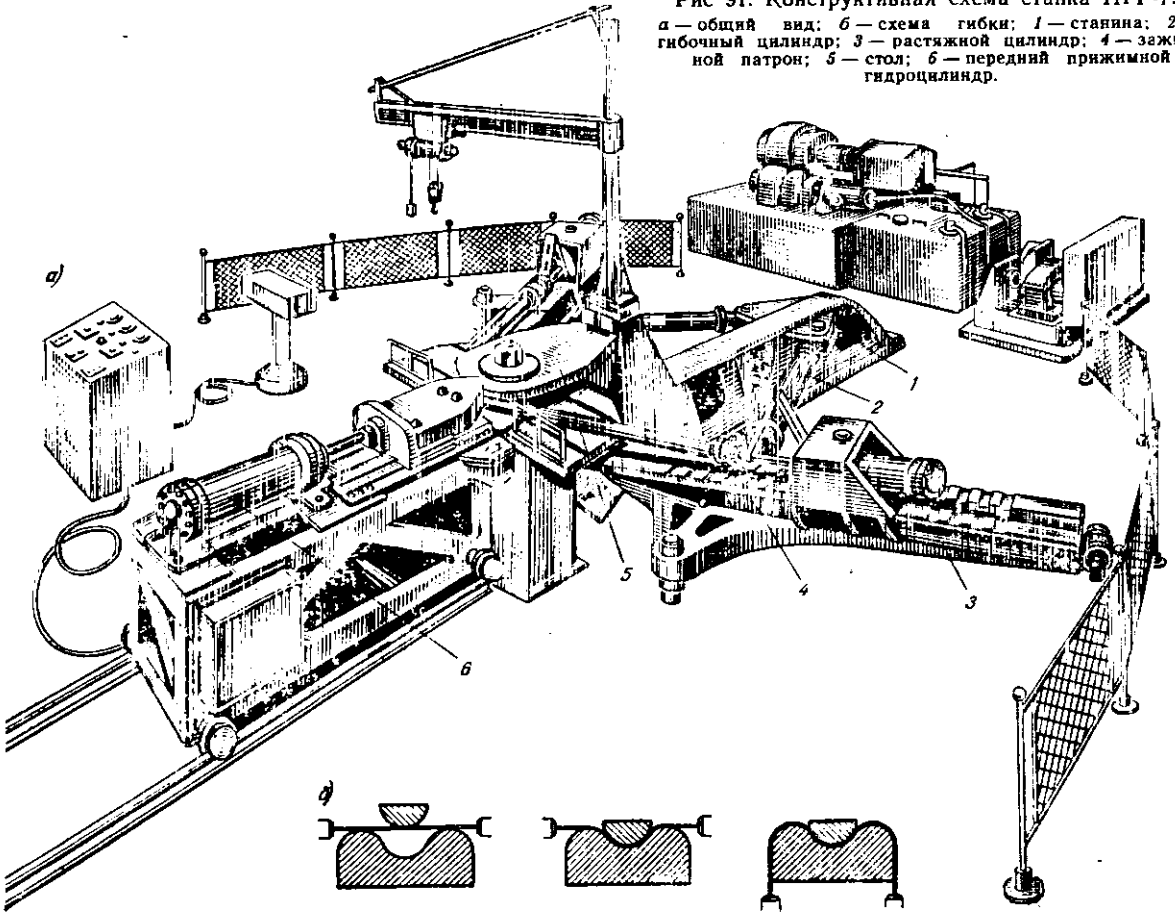
На рис. 90 показана последовательность гибки заготовки детали вокруг пуансона.

Станок ПГР-7 допускает гибку деталей двоякой кривизны. Принцип работы станка ПГР-7 тот же, что и ПГР-6. Из рис. 91 видно, что в отличие от станка ПГР-6, поворот гибочных рычагов осуществляется при помощи двух гидравлических цилиндров, кроме того, имеется отдельная система со вторым пуансоном, формующим обратную кривизну детали (см. рис. 91, *б*).

Станок ПГР-8 (рис. 92) обладает наибольшей мощностью. На этом станке можно получать детали только одинарной кривизны, но угол гибки можно довести до 280°, в то время как на станке ПГР-6 предельный угол гибки равен 180°.

Рис 91. Конструктивная схема станка ПГР-7:

а — общий вид; *б* — схема гибки; *1* — станина; *2* — гибочный цилиндр; *3* — растяжной цилиндр; *4* — зажимной патрон; *5* — стол; *6* — передний прижимной гидроцилиндр.



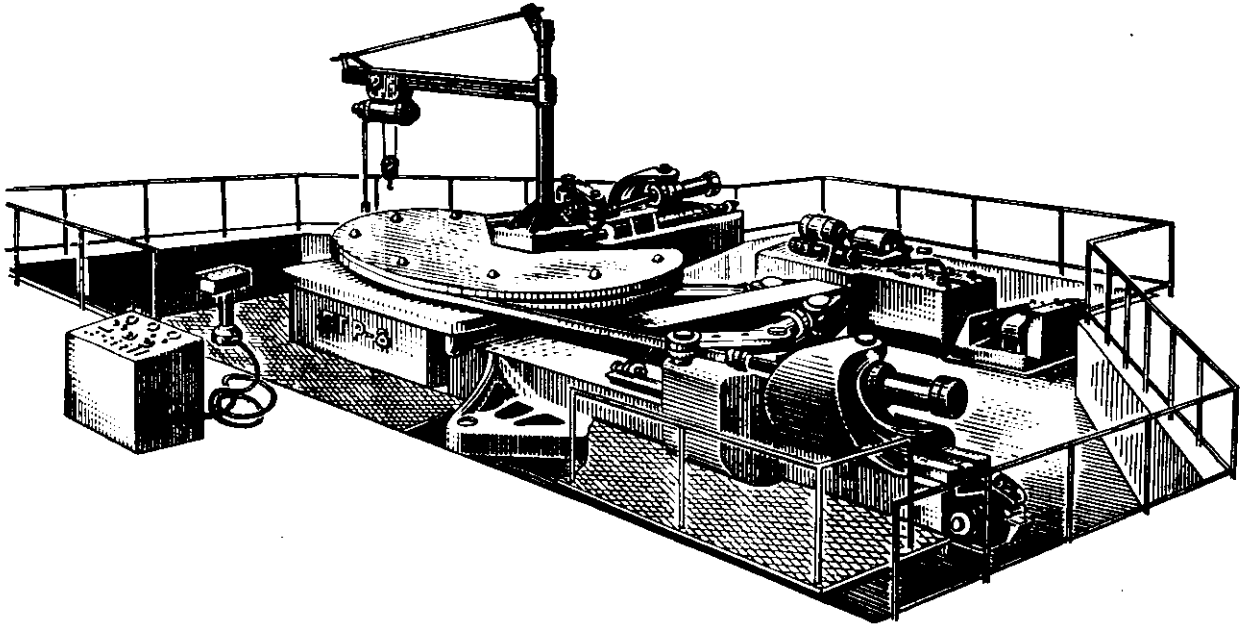


Рис. 92. Станок ПГР-8

Таблица 13

Технические характеристики станков типа ПГР

Основные технические данные	Тип станка		
	ПГР-6	ПГР-7	ПГР-8
Наибольшее усилие растяжения, *т*	10	25	60
Длина обрабатываемой заготовки:			
наибольшая	5500	6000	9000
наименьшая	1000	1000	2000
Наибольшая длина обкатной вогнутости	—	500	—
Наибольший угол изгиба детали, *град*	180	220	200
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	65	130	120
Наибольшее усилие прижимного цилиндра	—	25	40
Мощность электродвигателей, *квт*	14	61,7	69,5
Габаритные размеры станка, *мм*:			
длина	4400	8420	10200
ширина	7100	9615	14430
высота	1400	2170	5925
Вес станка, *т*	6,43	21	55

В табл. 13 приведены основные характеристики станков типа ПГР.

Рабочая оснастка для профилегибочных станков всех трех типов принципиальных отличий не имеет и представляет собой обтяжные пуансоны из баллинита или дельта-древесины. Схемы конструктивного оформления пуансонов приведены на рис 93. Контур пуансона выполняют с учетом пружинения. Для подсчета радиуса кривизны пуансона применяют соотношение:

$$R_{п} = R_{д} K_{1}, \qquad (70)$$

где $R_{п}$ — радиус кривизны пуансона с корректировкой на пружинение;

$R_{д}$ — чертежный размер радиуса кривизны детали;

K_{1} — коэффициент, зависящий от механических свойств и состояния материала заготовки и величины радиуса кривизны участка пуансона.

Одновременно следует учитывать упругое сокращение детали после снятия нагрузок.

Длину рабочего участка пуансона с учетом упругого сокращения подсчитывают по формуле:

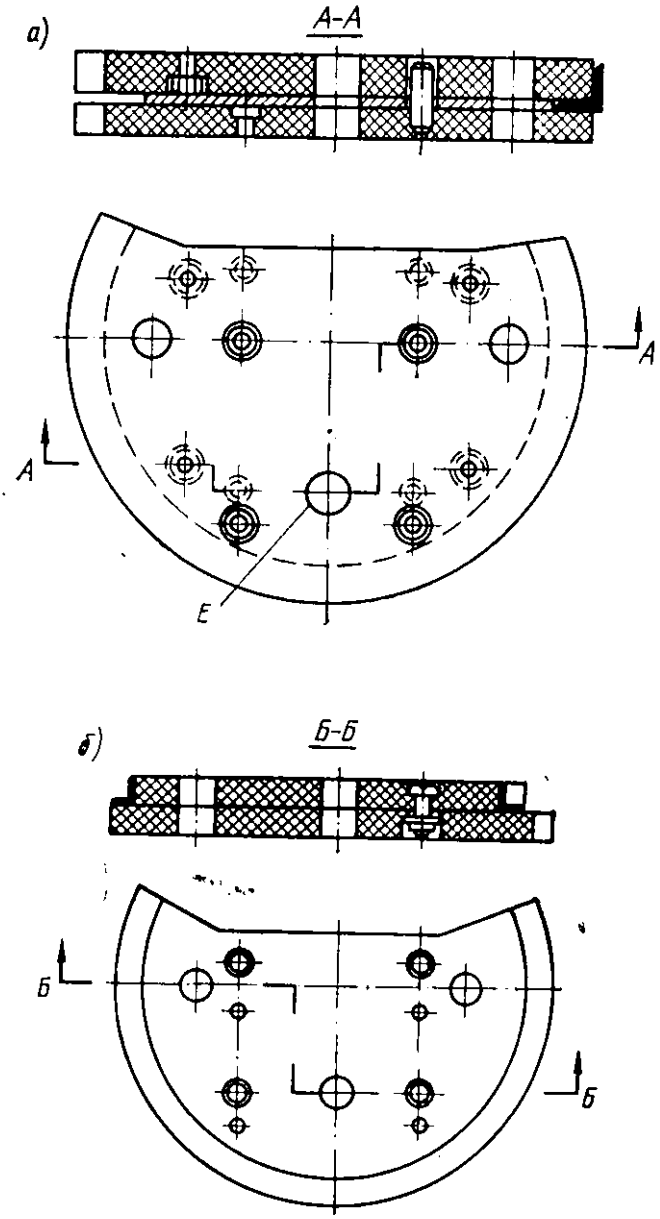


Рис. 93. Пуансоны для профилегибочных станков типа ПГР:

а — для гибки профиля полкой внутрь; *б* — для гибки профилей полкой наружу

$$L_п = L_д(1 + K_2), \qquad (71)$$

где $L_п$ — длина рабочего участка пуансона, *мм;*

$L_д$ — длина того же участка по детали, *мм;*

K_2 — коэффициент упругого сокращения, который принимают по данным таблиц; для закаленного дуралюмина марки Д16 коэффициент $K_2 = 0{,}004$.

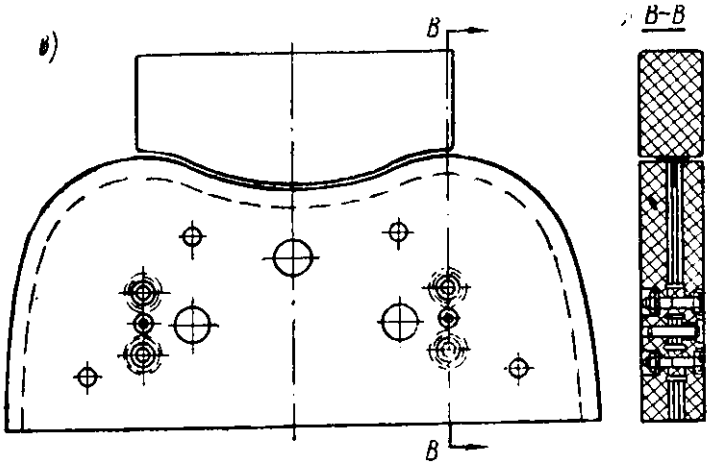


Рис. 93. Пуансоны для профилегибочных станков типа ПГР:

в — для гибки Т-образных профилей двоякой кривизны

Для калибровки вместо баллинитовых пуансонов неизменной кривизны часто применяют металлические составные пуансоны, допускающие путем перестановки отдельных секторов корректировку радиусов кривизны.

Подобная конструкция показана на рис. 94. Криволинейную рабочую поверхность на пуансоне такой конструкции набирают из отдельных секторов, располагаемых по любому криволинейному контуру.

На столе станка закрепляют плиту с Т-образными пазами, в которых болтами фиксируют сектора, состоящие из основания, стойки, державки, фиксатора и бобышек. Сектора располагают на плите по шаблону детали с корректировкой на пружинение. Размер паза под полку профиля устанавливают при помощи винта.

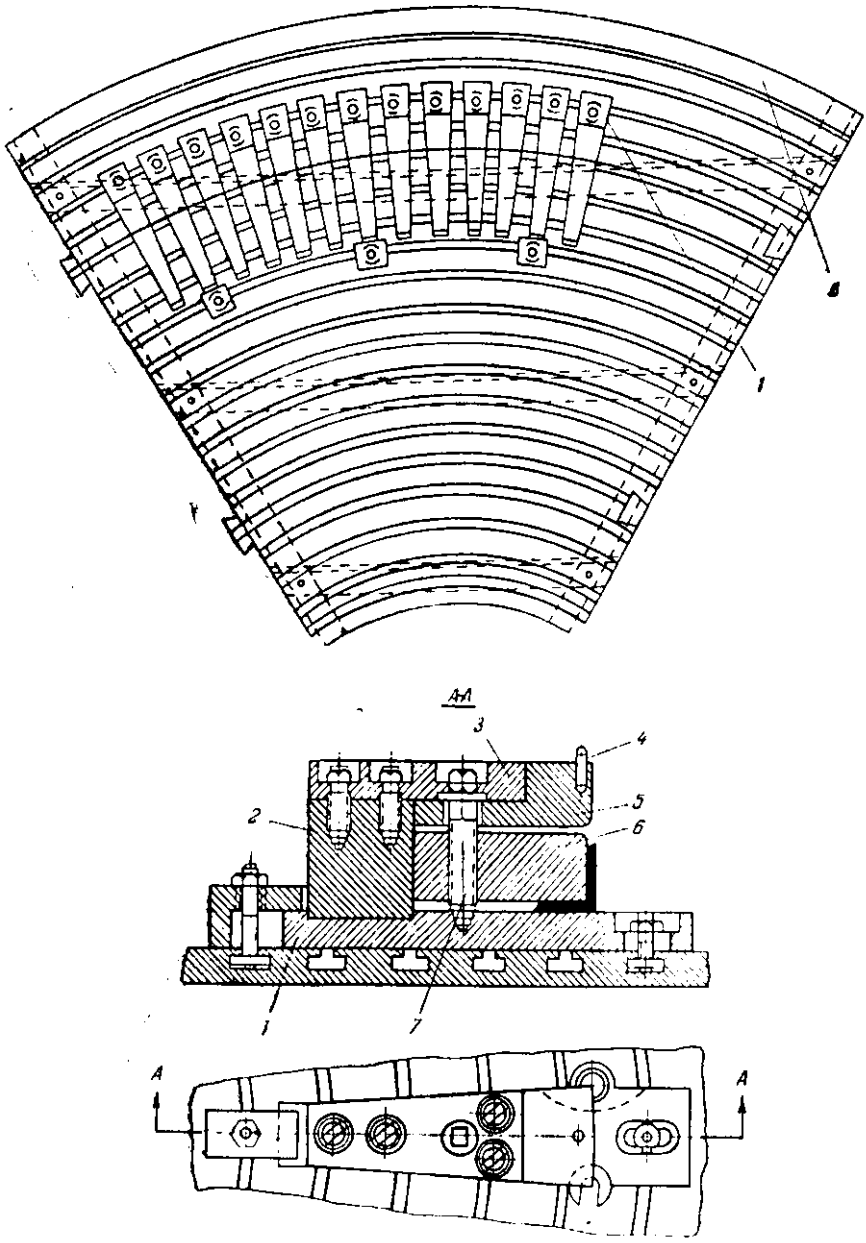


Рис. 94. Универсальный пуансон для гибки профилей на станках ПГР:

1 — основание; *2* — стойка; *3* — державка; *4* — фиксатор; *5* и *6* — бобышки; *7* — винт; *8* — плита

§ 4. ГИБКА ДЕТАЛЕЙ НА РОЛИКОВЫХ СТАНКАХ

Роликовые станки предназначают для изготовления деталей из прессованных и катаных профилей с замкнутыми или незамкнутами контурами и с постоянными или переменными радиусами кривизны. На рис. 95 изображены эти характерные детали.

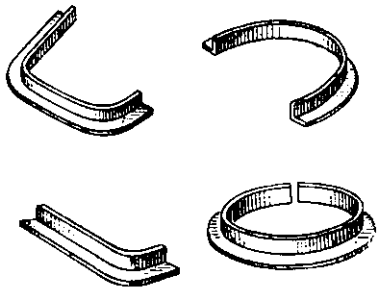


Рис. 95. Характерные детали, изготовляемые на роликовых станках

Конструктивные схемы станков различны. Станки отличаются количеством и расположением гибочных роликов. Ролики могут быть с горизонтальным расположением осей и вертикальным. Наиболее распространенные варианты схем расположения роликов даны на рис. 96.

Станки с горизонтальным расположением осей роликов изготовляют сравнительно небольших размеров. Вертикальное расположение осей роликов свойственно крупногабаритным станкам, профильная заготовка на этих станках изгибается в горизонтальной плоскости, что создает удобство при гибке крупных деталей из тяжелых профилей.

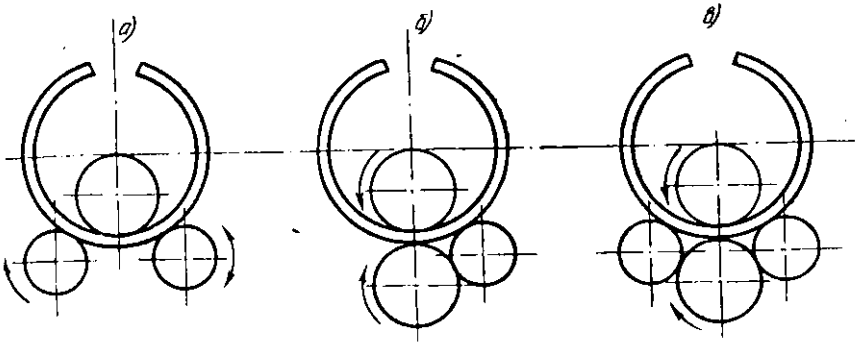


Рис. 96. Схемы расположения роликов:

а — трехроликовая симметричная; *б* — трехроликовая асимметричная; *в* — четырехроликовая

На вертикальных станках ролики располагают по симметричной схеме, в этом случае усилия, приходящиеся на них, меньше.

На рис. 97 показан трехроликовый вертикальный станок, предназначаемый для гибки крупногабаритных деталей. Прин-

цип действия этого станка состоит в том, что заготовку вставляют между роликами и под действием среднего ролика она получает местный изгиб. Вращающиеся ролики увлекают заготовку под действием сил трения, заготовка перемещается между роликами, непрерывно изгибаясь.

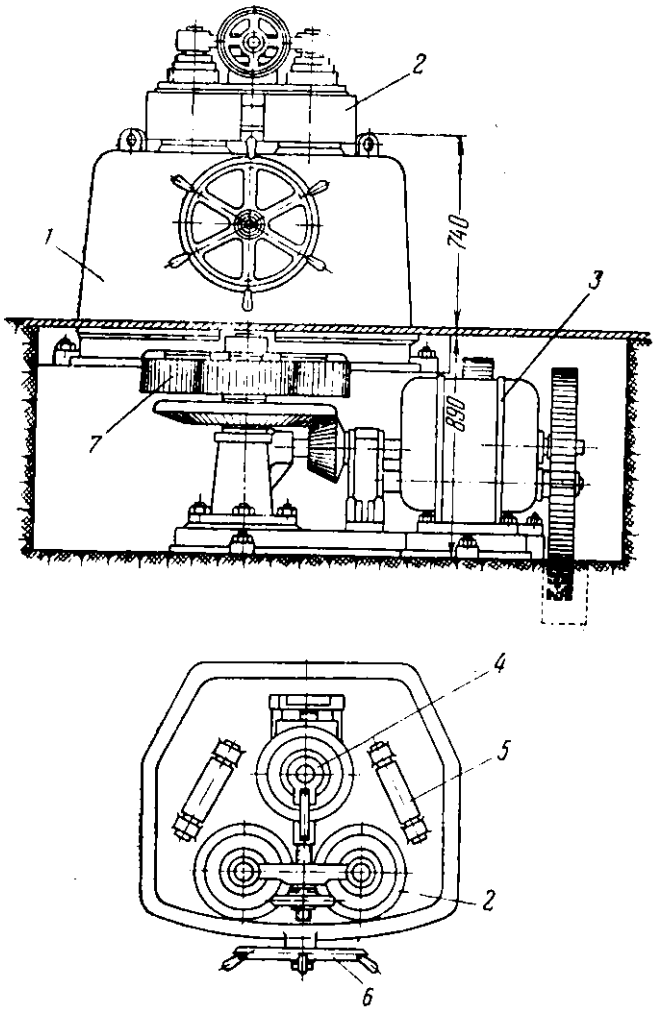


Рис. 97. Вертикальный трехроликовый станок:

1 — стол станка; *2* — боковые ролики; *3* — электрический двигатель; *4* — регулируемый ролик; *5* — ролики, поддерживающие заготовку; *6* — штурвал регулировки нажима; *7* — редуктор

Четырехроликовые станки по принципу действия несколько отличаются от трехроликовых: приводными роликами являются два средних. Это обеспечивает гибку кольцевых деталей без последующей подгибки концов, нажимные ролики (боковые) изгибают заготовку.

На рис. 98 показан общий вид профилегибочного четырехроликового станка модели И-620, выпускаемого Таганрогским заводом кузнечно-прессового оборудования. Станок предназначен для изготовления деталей из прессованных профилей методом гибки-прокатки в роликах.

Следует отметить, что ролики в станке И-620 сменные. Их профиль зависит от очертания изгибаемой заготовки.

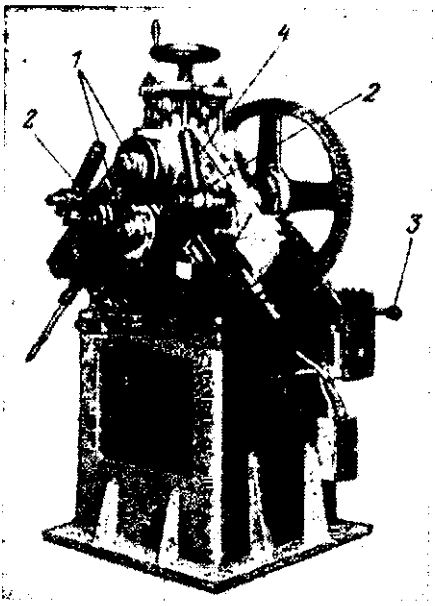


Рис. 98. Четырехроликовый гибочный станок И-620:

1 — приводные ведущие ролики; *2* — гибочные ролики; *3* — рукоятка для включения двигателя; *4* — рукоятка для перемещения гибочных роликов

Техническая характеристика станка И-620

Наибольшее усилие нижнего ролика, *т*	2,5
Наибольшие размеры сечений для гибки, *мм*:	
круглого	20
квадратного	20 × 20
полосы на ребро	35 × 8
полосы на плоскость	50 × 20
уголка полкой наружу	35 × 35 × 5
уголка полкой внутрь	30 × 30 × 5
Ход нижнего ролика, *мм*	45
Наименьший диаметр гибка (внутренний), *мм*	200
Число оборотов ведущих роликов в минуту	20
Мощность электродвигателя, *квт*	2,8
Габаритные размеры станка, *мм*:	
длина	1130
ширина	1000
высота над полом	1400
Вес станка, *т*	0,775

Для изгиба профилей с переменной кривизной применяют также профилегибочные четырехроликовые станки с копировальным механизмом и гидравлическим приводом. Гидравли-

ческим приводом управляет копировальный механизм. Это дает возможность простой перестановкой копира осуществить переналадку станка.

На рис. 99 показан профилегибочный станок модели ПГ-2.

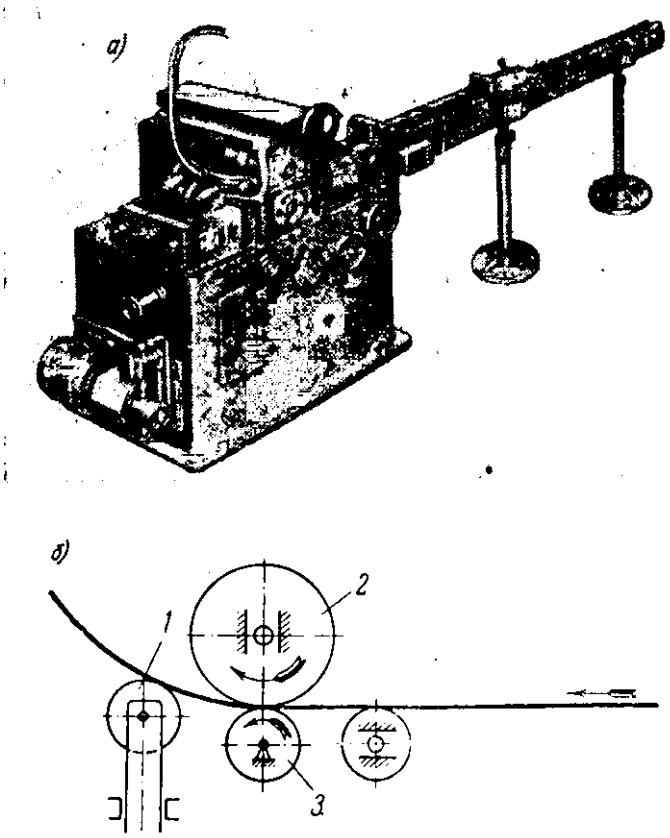


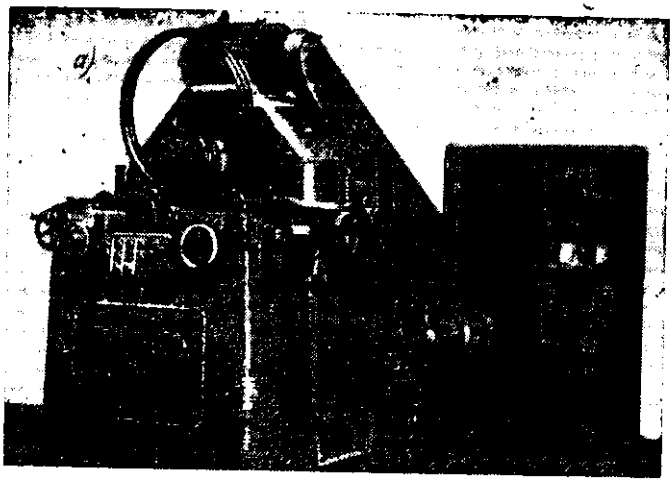
Рис. 99. Четырехроликовый профилегибочный станок типа ПГ-2, работающий по копиру:

а — общий вид; *б* — схема работы; *1* — гибочный ролик; *2* и *3* — верхний и нижний ведущие ролики

Техническая характеристика станка ПГ-2

Подача заготовки рольгангом:	
наибольшее усилие, *кГ*	1500
скорость, *м/мин*	2,44
Наибольшие размеры сечения изгибаемого профиля, *мм*:	
толщина	8
высота	80

Наибольшая длина заготовки при работе по копиру, *мм*	6000
Наименьший радиус изгиба, *мм*	300
Диаметр приводных роликов, *мм*:	
наибольший	250
наименьший	150
Число оборотов приводных роликов в минуту:	
верхнего	2,62
нижнего	7,5
Наибольшее усилие гибочных роликов, *т*	8,5
Наибольший вертикальный ход гибочных роликов, *мм*	160
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	50
Суммарная мощность электродвигателей, *квт*	7,3
Габаритные размеры станка, *мм*:	
длина	1800
ширина	1070
высота	1750
Вес станка, *т*	2,52



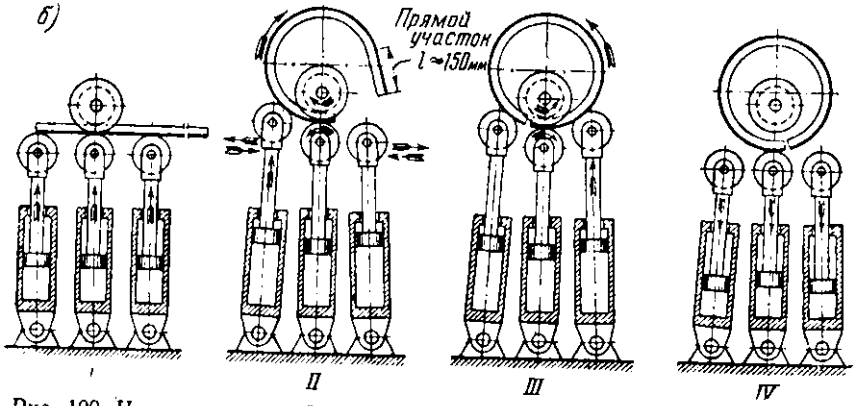


Рис. 100. Четырехроликовый станок типа ПГ-4 для гибки кольцевых деталей.

Несколько большую мощность и некоторые конструктивные особенности имеет станок модели ПГ-3. На этом станке возможна гибка прессованных деталей из дуралюминовых профилей.

Изготовляемые детали могут иметь постоянную малку (открытую или закрытую) в пределах от 0 до 30°. Минимальный радиус гиба — 250 *мм*.

В отличие от станка ПГ-2 с одним гибочным роликом, станок ПГ-3 имеет два гибочных ролика.

Еще большую мощность имеет четырехроликовый станок ПГ-4 конструкции М. В. Солдатова, предназначенный для гибки кольцевых деталей с минимальным радиусом 200 *мм*. Максимальное усилие нижнего приводного ролика — 20 *т*.

На рис. 100, *а* и *б* показан станок ПГ-4 и схема его работы. Станок обеспечивает получение кольцевых стальных деталей без подгибки концов.

Станок настраивают по приборам, входящим в состав пульта управления.

Основная характеристика профилегибочных станков типа ПГ приведена в табл. 14.

Таблица 14

Техническая характеристика профилегибочных станков

Основные технические данные	Модель	
	ПГ-3	ПГ-4
Усилие гидроцилиндра, *т*:		
гибочных роликов	12	12
нижнего приводного ролика	6	20
Наибольшие размеры сечения профиля, *мм*:		
высота полки	100	80
ширина полки	—	150
Наименьший радиус изгиба, *мм*	250	100
Рабочий ход гибочных роликов (по вертикали), *мм*	160	150
Скорость гибки, *мм/мин*	7,14	—
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	50	16
Суммарная мощность электродвигателей, *квт*	16,5	16
Габаритные размеры станка, *мм*:		
длина	2700	2865
ширина	1380	2040
высота	2000	2280
Вес станка, *т*	6	7

Для доводки и гибки деталей из профилей уголкового, таврового и бульбополосового материала методом раскатки в роликах применяют станок ПРС-1.

Станок ПРС-1 принципиально отличается от всех описанных выше станков по характеру деформаций при гибке. Полку изгибаемого профиля (рис. 101) прокатывают между роликами, расположенными под небольшим углом. Толщина полки при прокатке изменяется в радиальном направлении, уменьшаясь к кромке.

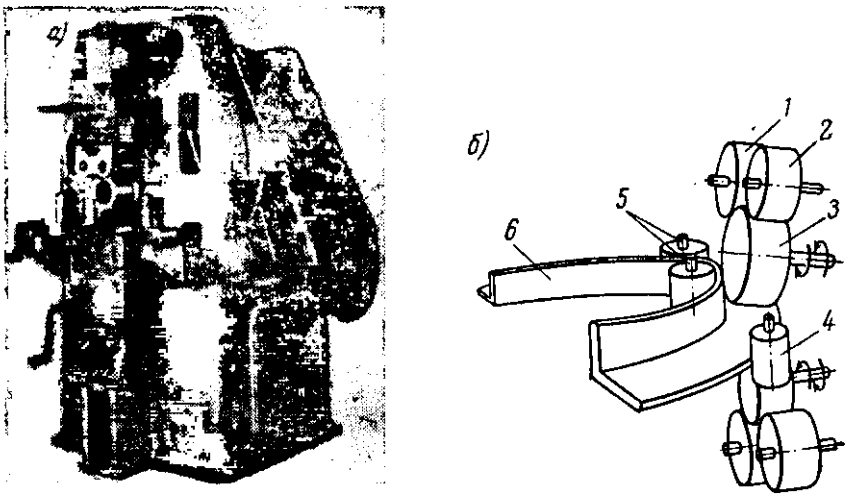


Рис. 101. Профилегибочный станок ПРС-1:

а — общий вид; *б* — схема работы; *1* и *2* — опорные ролики; *3* — раскатный ролик; *4* и *5* — гибочные ролики; *6* — изгибаемая деталь

Техническая характеристика станка ПРС-1

Наибольшее усилие раскатки, *т*	30
Наибольшие размеры полок профиля, *мм*:	
высота раскатываемой полки	80
высота вертикальной полки	80
толщина раскатываемой полки	10
толщина вертикальной полки	20
Наименьший радиус изгиба, *мм*	250
Скорость перемещения профиля, *м/мин*	4—8
Мощность электродвигателя привода, *квт*	7
Габаритные размеры станка, *мм*:	
длина	2030
ширина	1050
высота	1940
Вес станка, *т*	3,5

§ 5. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА КОПИРОВАЛЬНО-ГИБОЧНЫХ СТАНКАХ ТИПА КГЛ

Копировально-гибочные станки предназначены для изготовления листовых деталей (рис. 102):

1) цилиндрических с постоянной и переменной кривизной;
2) конических.

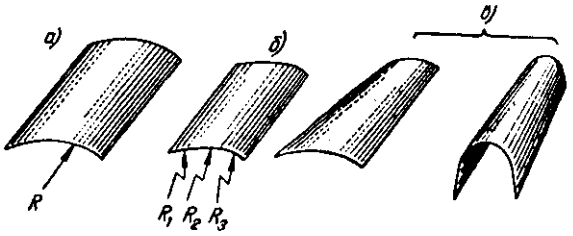


Рис. 102. Типовые детали, получаемые на станках типа КГЛ:

а — цилиндрические постоянной кривизны; *б* — цилиндрические переменной кривизны; *в* — конические

Станки типа КГЛ имеют три валка, опирающихся на ряд роликов, установленных вдоль валков. Такая система обеспечивает жесткость валков и отсутствие в них прогиба при больших нагрузках. Верхний валок закреплен на траверсе, которая перемещается в вертикальной плоскости при помощи гидравлической системы (рис. 103). Верхний и нижние валки приводные. Опускание и подъем траверсы изменяет кривизну детали. Установка верхнего валка под углом в вертикальной плоскости обеспечивает гибку конусных деталей. Станок работает автоматически.

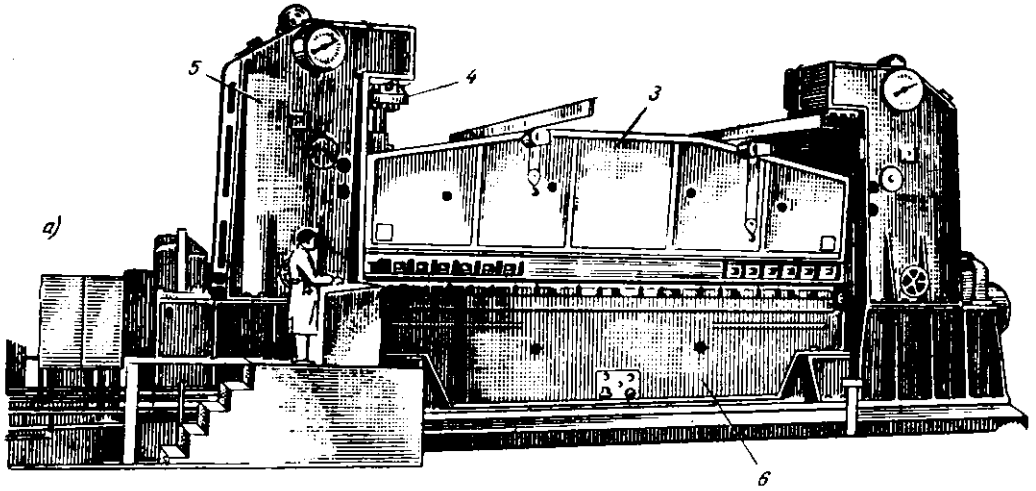
На рис. 104 приведена схема автоматического управления перемещением верхней траверсы.

Профиль изгибаемой детали задают при помощи сменных копиров в системе автоматического управления перемещением верхней траверсы станка.

Профиль сменных копиров рассчитывают по специальной методике, прилагаемой к инструкции по эксплуатации станка.

Основным достоинством этих станков является быстрота переналадки, сводящаяся к смене копира. К недостаткам следует отнести относительно невысокую точность гибки и невозможность использования заготовки «от кромки до кромки».

Первый недостаток является следствием больших допусков на толщину материала заготовки и нестабильности свойств материала. Он может быть устранен путем повышения ста-



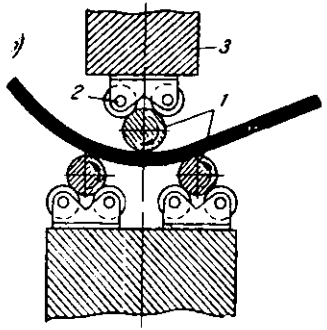


Рис. 103. Копировально-гибочный станок типа КГЛ:

а — общий вид; *б* — схема гибки; *1* — гибочные валки; *2* — опорные рамки; *3* — траверса; *4* — гидравлические цилиндры; *5* — станина; *6* — нижняя траверса

бильности свойств заготовок или оснащения станков системами активного контроля.

Второй недостаток можно устранить асимметричным расположением валков. К таким станкам относятся станки типа

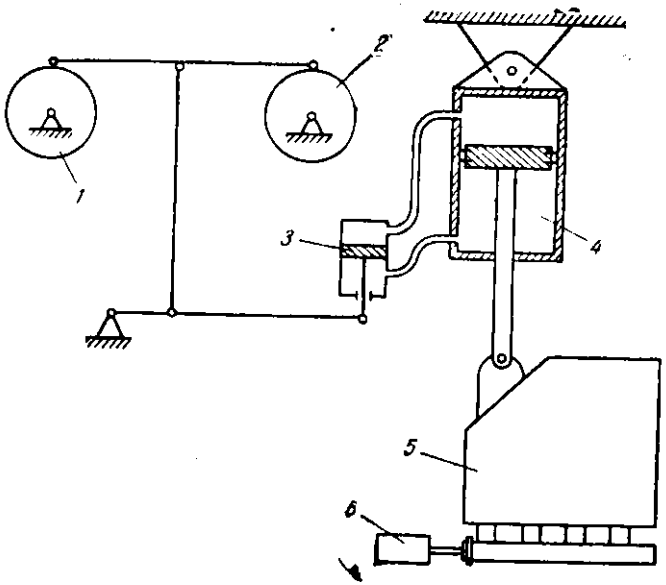


Рис. 104. Схема автоматического управления перемещением верхней траверсы:

1 — копир; *2* — поправочный диск; *3* — золотник; *4* — гидравлический цилиндр; *5* — подвижная траверса; *6* — редуктор привода подвижных валков

ГЛС четырехвалковой системы, представляющие собой комбинацию двух-трехвалковых систем с симметричным и асимметричным расположением валков.

В табл. 15 приведены технические характеристики копировально-гибочных станков КГЛ-1М, КГЛ-2 и КГЛ-3.

Таблица 15

Технические характеристики копировально-гибочных станков

Основные технические данные	Модель		
	КГЛ-1М	КГЛ-2	КГЛ-3
Максимальное усилие траверсы, *т*	20	110	275
Наибольшие размеры изгибаемого листа, *мм*:			
длина	3500	5000	7000
толщина	2,5	6	10

Продолжение табл. 15.

Основные технические данные	Модель		
	КГЛ-1М	КГЛ-2	КГЛ-3
Радиус изгиба листа, *мм*:			
наименьший	20	75	150
наибольший	〃	〃	〃
Количество формующих валков, *шт*	3	3	3
Диаметр валков, *мм*:			
верхнего	14	60	120
нижних	21	80	140
Скорость прокатывания, *м/мин*	0,5–0,75	0,7—1,5	1,1
Наибольший угол наклона траверсы, *мин*	40	60	30
Наибольший рабочий ход траверсы, *мм*	18	230	360
Ширина непрокатанного края, *мм*	30	80	130
Мощность электродвигателей, *квт*	4	40	57
Габариты, *мм*:			
длина	6500	11750	17100
ширина	2500	3080	6100
высота	2300	3145	5540
Вес станка, *т*	10	28,5	122

§ 6. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА ПРЕССАХ ТИПА ОП И РО

Ряд деталей, штампуемых из листовых заготовок, часто имеет радиус кривизны в несколько сотен и даже тысяч раз больший толщины материала заготовки. Штамповка таких деталей в матрицах практически невозможна, если заготовка не будет защемлена по всему периметру. При защемлении заготовки по периметру формообразование происходит только за счет утонения материала, который обтягивается по пуансону. В этом случае необходимость в матрице отпадает, поскольку формообразование детали происходит путем обтяжки материалов по пуансону. На рис. 105 показан принцип обтягивания.

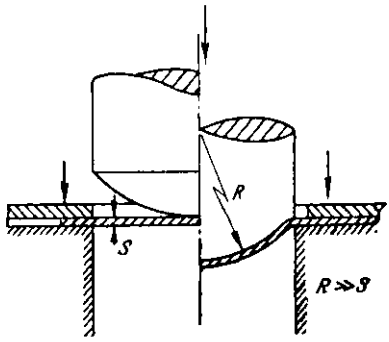


Рис. 105. Схема обтяжки по пуансону

На принципе обтягивания заготовки по пуансону работает ряд специальных прессов, предназначенных для штамповки листовых деталей с большими радиусами кривизны. Типовые детали, штампуемые на этих прессах, показаны на рис. 106.

Обтягивание материала плоской заготовки связано с его утонением, что является причиной возможного получения деталей с небольшой глубиной вытяжки. Если обтягивание производить из предварительно изогнутых заготовок, то детали могут иметь значительно бóльшую глубину обтяжки.

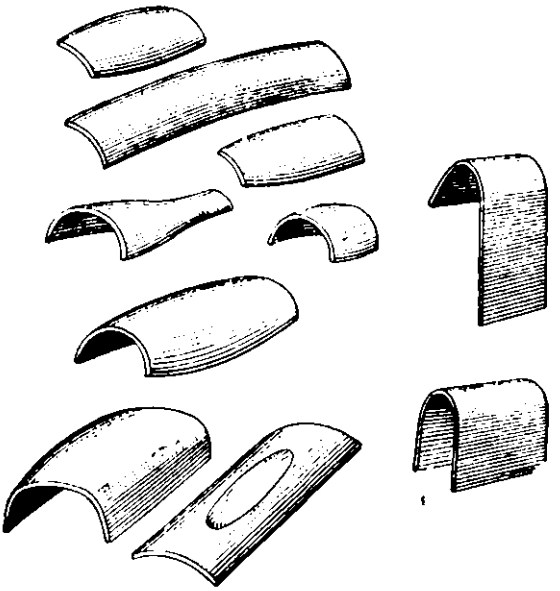


Рис. 106. Типовые детали, изготовляемые обтягиванием по пуансону

При обтягивании достаточно защемить только две противоположные кромки, при этом возможны два варианта: защемление продольных или поперечных кромок (рис. 107).

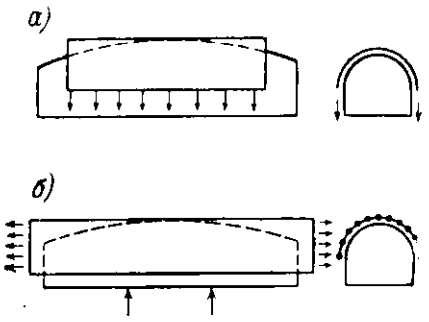


Рис. 107. Схема процесса обтяжки:
а — защемление продольных кромок;
б — защемление поперечных кромок

При защемлении продольных кромок и приложении усилий, согласно схеме на рис. 107, а, происходит **простое обтягивание** заготовки по пуансону. Усилия по кромкам и усилие пуансона действуют в вертикальной плоскости, параллельны друг другу, но действуют в обратных направлениях.

Схема с защемлением поперечных кромок более сложна. В этом случае на-

правление усилий по кромкам и усилий со стороны пуансона взаимно перпендикулярно (или близко к этому).

По второй схеме материалу заготовки придают предварительное растяжение, и обтяжка по пуансону происходит при наличии в материале преобладающих растягивающих напряжений. Этот процесс называется **обтягиванием с растяжением.** При простом обтягивании в качестве приближенной характеристики наибольшей степени деформации можно рассматривать относительное удлинение в поперечном сечении, в котором материал получает максимальное удлинение. Эта величина называется коэффициентом обтяжки, который характеризует степень деформации и обозначается:

$$K_{\text{обт}} = \frac{l_0}{l_д}, \qquad (72)$$

где l_0 — длина контура сечения до обтягивания;

$l_д$ — длина того же контура сечения готовой детали.

Коэффициент обтяжки должен быть меньше предельного $K_{\text{обт макс}}$, при котором напряжения в сечении достигают разрушающих значений.

Величина предельного коэффициента обтяжки за один переход зависит от толщины металла и колеблется в пределах 1,04÷1,06 (для алюминиевых сплавов).

В процессе обтягивания на поверхности контакта заготовки с пуансоном возникают значительные силы трения, отрицательно влияющие на ход процесса. Для уменьшения сил трения поверхность пуансона покрывают смазкой.

Основными достоинствами процесса простой обтяжки яв-

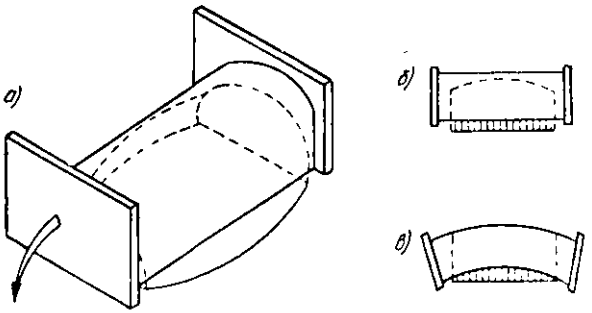


Рис. 108. Схема перемещения зажимов при обтяжке с растяжением:

а — общий вид; *б* — начальный момент; *в* — конечный момент

ляется простота оборудования и его относительно небольшая стоимость. К недостаткам следует отнести большие отходы материала, поскольку припуск вдоль продольных кромок составляет 200 *мм* и более на сторону. Этот припуск обрезают, а отход не используют.

Обтягивание с растяжением связано с более сложными движениями зажимных клемм обтяжного пресса, чем при простой обтяжке (рис. 108). Предварительное растяжение материала должно быть доведено до предела текучести в периферийных волокнах. В гребне напряжения будут иметь большое значение и их величина будет тем больше, чем больше кривизна детали в продольном направлении.

Следует отметить, что в том случае, если радиус изготовляемой детали

$$R \geqslant 125S \text{ (для дуралюмина)},$$

изгиб будет упругим, и после снятия нагрузки заготовка примет первоначальную форму.

Дополнительное растяжение, доведенное до предела текучести, исключит такое отпружинивание, и заготовка примет форму рабочей поверхности пуансона.

Характеристикой степени деформирования так же, как и при простой обтяжке, является $K_{обт}$. Определить $K_{обт}$ расчетным путем очень сложно: для этого необходимо определить относительное удлинение продольного волокна по гребню при обтягивании его с растяжением, достаточным для создания напряжений, равных напряжению текучести на продольных кромках заготовки. Обычно при расчетах используют номограммы, имеющиеся в справочной литературе и руководствах по эксплуатации штамповочного оборудования.

Относительное удлинение на гребне детали в конце процесса $K_{обт}$ определяют по формуле:

$$K_{обт} = 1 + e, \tag{73}$$

где

$$e = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3. \tag{74}$$

Коэффициент η_1 находят по номограмме. Для этого необходимо знать радиусы кривизны детали и размеры заготовки. Коэффициент η_2 принимают для свежезакаленного дуралюмина равным 0,01, а для отожженного дуралюмина — 0,02. Этот коэффициент учитывает состояние металла и величину его удлинения, обеспечивающую наличие растягивающих напряжений во всех сечениях заготовки. Коэффициент η_3 в среднем равен 0,01; он учитывает влияние силы трения при обтяжке со смазкой.

Существуют предельные значения коэффициента $K_{обт}$, которые зависят от толщины заготовки: при 1 *мм* металла он

составляет 1,04; при 2 *мм* — 1,045; при 3 *мм* — 1,05; при 4 *мм* — 1,06.

Если значение коэффициента $K_{обт}$ превышает допустимые значения, то деталь формуют с нагревом или в несколько переходов, причем возможна повторная обтяжка или двухпереходная. При повторной обтяжке применяют один пуансон, по которому при первом переходе обтяжку производят до некоторого допустимого предела, затем полуфабрикат подвергают закалке с последующей окончательной обтяжкой.

Этот метод применяют при относительно небольшой кривизне детали $R/S > 125$.

Двухпереходную обтяжку производят по двум различным пуансонам с закалкой между переходами. Пуансон первого перехода имеет меньшую кривизну, чем второй. Форма второго пуансона соответствует форме готовой детали. Двухпереходную обтяжку применяют для деталей, имеющих относительную кривизну $R/S < 125$.

Удлинение измеряют непосредственно по первой формуемой детали, для чего на детали наносят риски. Как только расстояние между рисками увеличится на величину, соответствующую $K_{обт\ доп}$, процесс обтяжки нужно прекратить. Одновременно по приборам определяют величину усилий, установленных на прессе. Обтяжку последующих деталей ведут по показаниям приборов.

В табл. 16 приведены значения относительного удлинения и соответствующие им коэффициенты обтяжки.

Таблица 16

Значения относительного удлинения в зависимости от коэффициентов обтяжки

$K_{обт}$	δ, %	$K_{обт}$	δ, %
1,015	1,5	1,045	4,6
1,020	2,0	1,050	5,1
1,025	2,6	1,052	5,4
1,030	3,1	1,055	5,7
1,035	3,6	1,060	6,2
1,038	3,9	1,070	7,3
1,040	4,1	1,075	7,8
1,044	4,5	1,080	8,3

В ряде случаев обтяжку производят с нагревом материала. Нагрев применяют при больших коэффициентах обтяжки ($K_{обт} > 1{,}15$), что позволяет уменьшить количество переходов. Обтяжку с нагревом выполняют в следующем порядке: 1) отожженный материал обтягивают при нормальной температуре до

формы, соответствующей предельному значению; 2) производят повторную обтяжку по тому же пуансону, но с нагревом материала (Д16М — до 230÷250° С, В95М — до 205÷220° С); 3) закаливают заготовку; 4) калибруют деталь при нормальной температуре.

Для обтягивания с нагревом применяют металлические литые пуансоны, в теле которых устанавливают трубчатые электронагреватели.

Если известен коэффициент обтяжки общий и коэффициент обтяжки первого перехода, то коэффициент обтяжки второго перехода можно определить по формуле:

$$K_{2\,\text{обт}} = K_{\text{обт}} - K_{1\,\text{обт}}. \tag{75}$$

Размеры заготовки определяют, исходя из размеров пуансона и необходимых припусков:

$$L_{\text{заг}} = L_{\text{д}} + 2(n_1 + n_2 + n_3), \tag{76}$$

где $L_{\text{д}}$ — длина развертки детали, *мм;*
n_1 — расстояние от торца пуансона до линии обреза детали, принимаемое в 50—70 *мм;*
n_2 — припуск, равный 30—200 *мм,* определяющийся необходимыми маневрами пуансона и радиусом его продольной кривизны;
n_3 — припуск на зажим заготовки, принимаемый равным~50 *мм.*

Необходимое рабочее давление в цилиндрах пресса можно ориентировочно подсчитать по формуле:

$$P = \frac{BS\sigma_s}{F}, \tag{77}$$

где F — площадь поршней, *мм*^{2};
B — ширина листа, *мм;*
S — толщина материала, *мм;*
σ_s — предел текучести материала, *кГ/мм*^{2}.

Отечественная промышленность выпускает несколько моделей прессов для обтяжки и растяжки. На рис. 109 и 110 показаны прессы ОП-2М и ОП-3, а в табл. 17 приведены их технические характеристики.

Зажимы на прессе ОП-3 могут устанавливаться согласно схеме (рис. 111). На рис. 112 приведены типовые детали, изготовляемые на прессах ОП-2М и ОП-3.

Для обтяжки с растяжением выпускают прессы типа РО — растяжно-обтяжные (рис. 113).

Рис. 109. Обтяжной пресс типа ОП-2М:

а — общий вид; *б* — верхняя часть; *1* — станина; *2* — неподвижный стол; *3* — зажим для материала; *4* — траверса; *5* — каретка

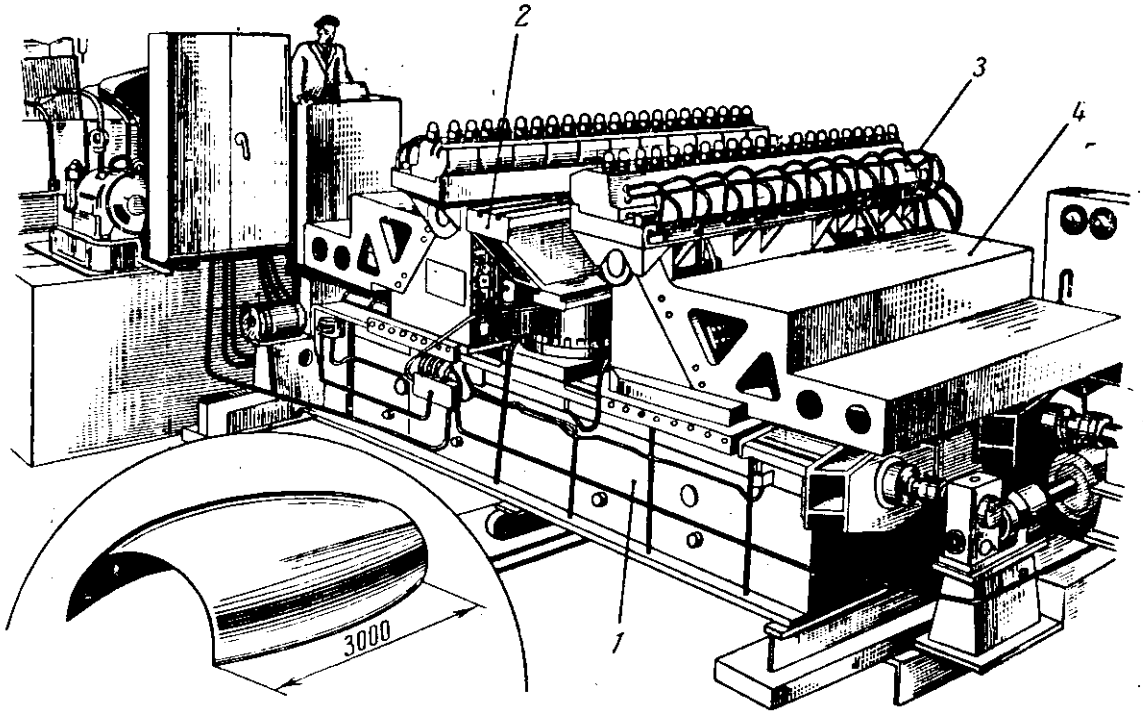


Рис. 110. Пресс типа ОП-3:

1 — станина; *2* — стол для установки пуансона; *3* — зажимы; *4* — траверса

Таблица 17

Технические характеристики обтяжных прессов

Основные технические данные	Модель	
	ОП-2М	ОП-3
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки, *мм*:		
длина	4000	3000
толщина	2	2
Наибольшее усилие обтяжки, *т*	600	—
Наибольшее усилие, развиваемое столом, *т*	—	360
Вертикальный ход траверсы, *мм*:		
правой	375	—
левой	200	—
Вертикальный ход стола, *мм*	—	350
Наклон стола в вертикальной плоскости, *град*	—	до 10
Расстояние между зажимными губками в вертикальном положении, *мм*:		
наименьшее	140	600
наибольшее	600	1950
Наибольший угол разворота зажимов в плане, *град*	4	16
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	120	130
Мощность электродвигателей, *квт*	34,8	26,4
Габаритные размеры пресса, *мм*:		
длина	7900	9000
ширина	5220	4000
высота	4050	2490
Вес пресса, *т*	55	40

Сущность работы пресса сводится к следующему: листовая заготовка, концы которой закреплены в зажимах пресса, обтягивается по пуансону за счет его движения вверх и растягивания заготовки при помощи гидравлических цилиндров. На конце штока поршня этого цилиндра закреплена плита, на ко-

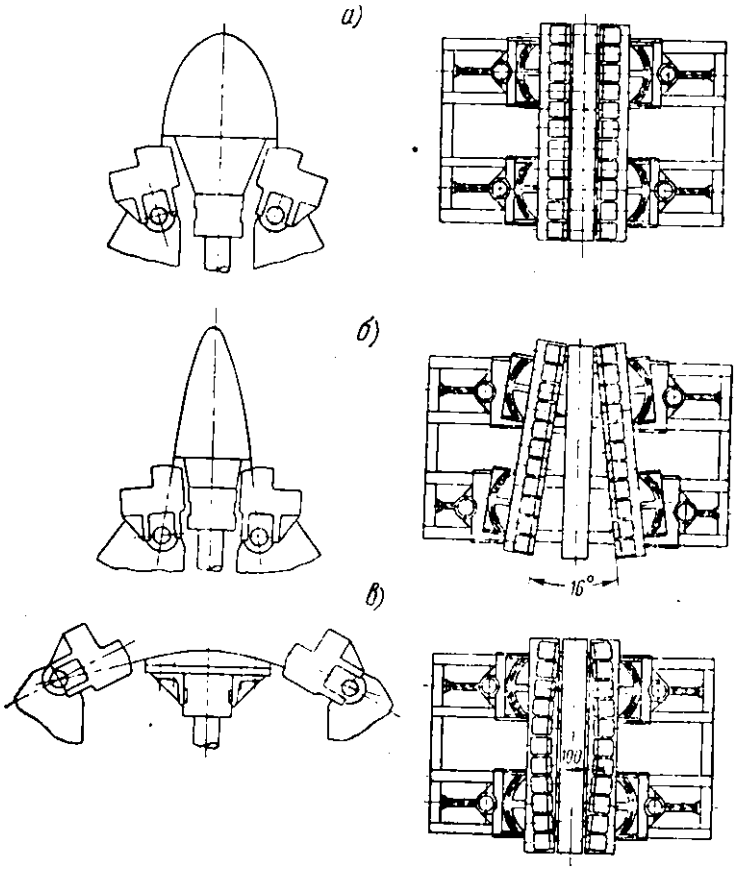


Рис. 111. Схема установки зажимов на прессе ОП-3:
а — параллельная; *б* — под углом; *в* — по дуге

торой в Т-образных прорезях устанавливают зажимы в соответствии с профилем пуансона. Гидроцилиндр закреплен на цапфах, поэтому он качается в вертикальной плоскости. Это улучшает условие прилегания заготовки к ее рабочей поверхности.

На рис. 114 растяжно-обтяжной пресс РО-3 дополнительно снабжен верхним столом для установки пуансона, формирующего обратную кривизну детали. На рис. 115 показаны типовые детали, штампуемые на прессе РО-3.

Технические характеристики растяжно-обтяжных прессов типа РО приведены в табл. 18.

Пуансоны для растяжно-обтяжных прессов изготовляют из массы ПСК или из эпоксипласта по слепкам с эталонных деталей или макетов поверхностей, а также путем отливки.

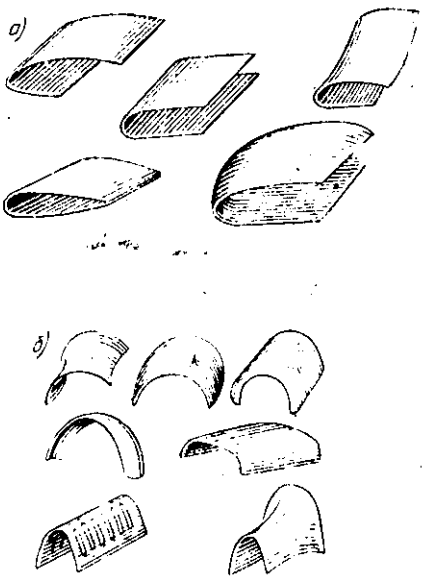


Рис. 112. Типовые детали, изготовляемые на прессах:
а — на прессе ОП-2М; *б* — на прессе ОП-3.

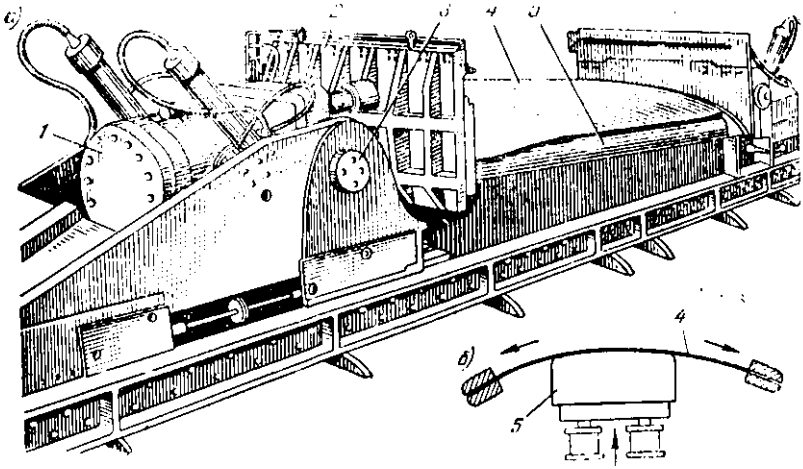


Рис. 113. Растяжно-обтяжной пресс типа РО-I:
а — общий вид; *б* — схема процесса; *1* — главный растягивающий цилиндр; *2* — плита; *3* — цапфа поворота главного цилиндра; *4* — листовая заготовка; *5* — пуансон

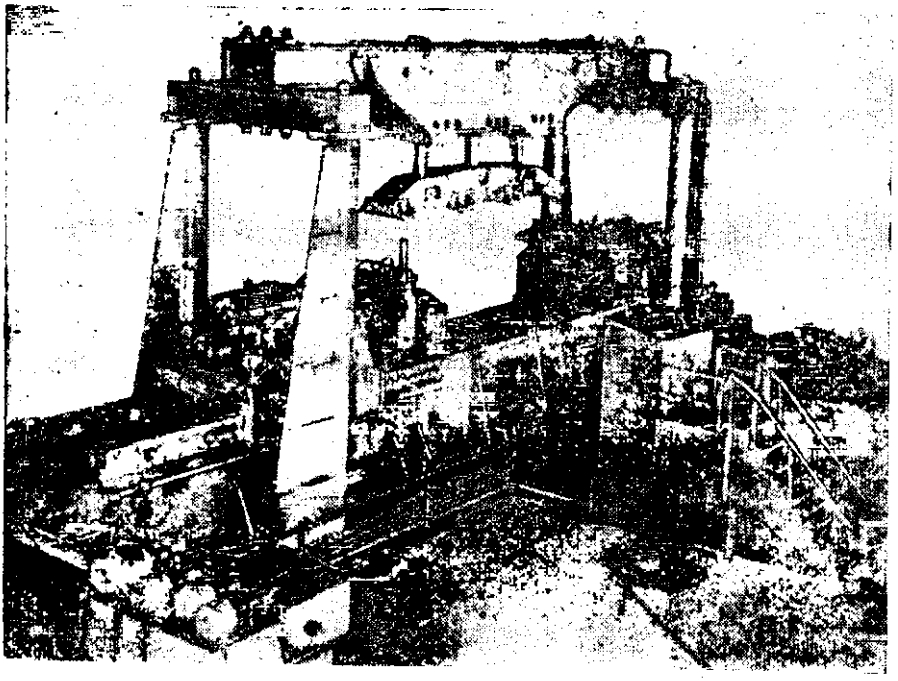


Рис. 114. Растяжно-обтяжной пресс типа РО-3

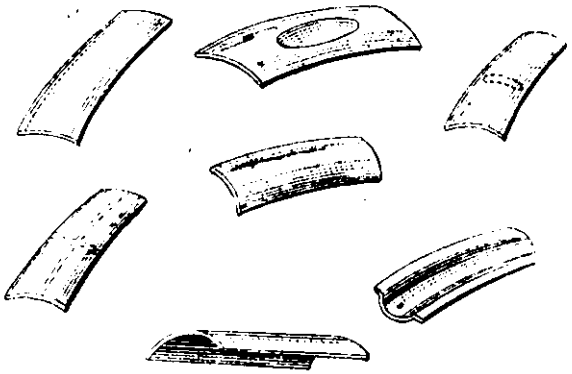


Рис. 115. Типовые детали, штампуемые на прессе РО-3

Таблица 18

Технические характеристики обтяжно-растяжных прессов

Основные данные	РО-1	РО-1М	РО-3	РО-3М	РО-5М
Наибольшие размеры обрабатываемого листа *мм*:					
длина	7000	7000	7000	7000	7000
ширина	1500	1500	1800	1800	2000
толщина	2,5	2,5	6,0	6.0	5,0
Наибольшее усилие подъема стола, *т*	200	200	300	270	200
Наибольшее усилие растяжения, *т*	110	100	270	270	150
Скорость растяжения, *мм/мин*	200	200	400	400	150
Размеры стола, *мм*:					
длина	3600	3600	4600	4600	3600
ширина	800	800	1050	1050	400
Ход стола, *мм*	500	500	450	450	450
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	65	65	200	200	200
Общая мощность электродвигателей, *квт*	32,4	32,4	44,3	44,3	33
Габаритные размеры пресса, *мм*:					
длина	13450	13450	15380	15380	12000
ширина	4630	4630	6250	6250	2400
высота	1700	1700	7325	7325	3200
Вес пресса, *т*	65	65	180	180	56

§ 7. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА ПРЕССАХ ТИПА ПКД

Формообразование гидроштамповкой полых деталей, имеющих форму тел вращения из высокопрочных материалов или при относительно большой толщине стенок, связано с большими трудностями. Потребные давления жидкости при этом возрастают, и конструкции установок настолько усложняются, что становятся малопригодными в эксплуатации.

Полые детали формы тел вращения с высокопрочными стенками рационально штамповать на специальных прессах с разжимными пуансонами. На рис. 116 показаны типовые детали, штампуемые на этих прессах.

На рис. 117 приведена схема работы пуансона специального пресса типа ПКД.

Пуансон имеет ряд разжимных секторов, у которых наружный контур соответствует внутреннему контуру обвода детали. Пуансон насаживают на конусную оправку и по мере его продвижения вниз сектора разжимают, а заготовку обтягивают по пуансону.

На рис. 118 дана конструктивная схема пресса для калибровки деталей ПКД. Привод пресса гидравлический. Пуансоны сменные, заготовку фиксируют на пуансоне по высоте упо-

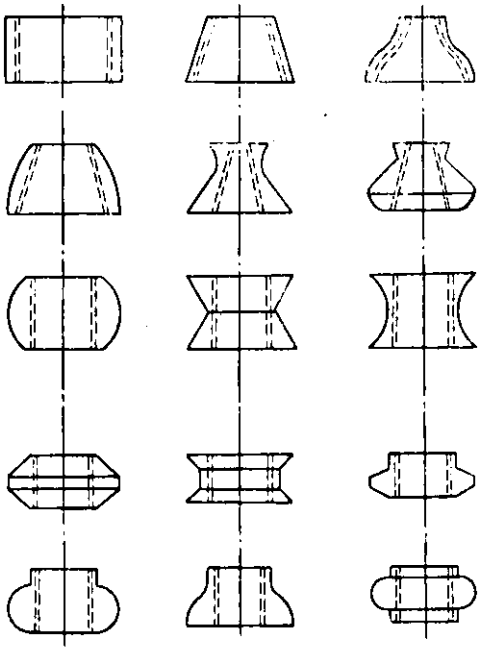


Рис. 116. Типовые детали, штампуемые на прессах с разжимными пуансонами

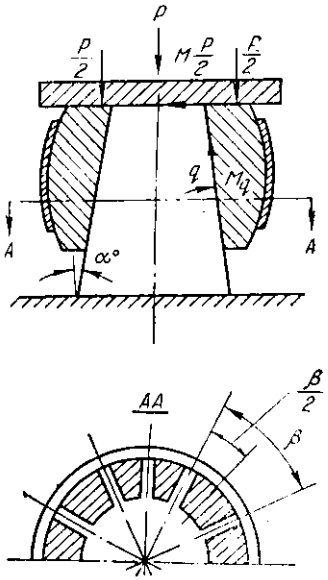


Рис. 117. Схема работы пуансона пресса ПКД

рами. Необходимое усилие пресса для формообразования детали зависит от прочностных характеристик материала заготовки и может быть подсчитано по формуле, составленной из условия равновесия внешних сил и напряжений деформируемого материала:

$$P = 2KL\sigma_в n \sin \beta/2, \tag{78}$$

где P — усилие пресса, *кГ*;

K — коэффициент, учитывающий влияние угла конуса и коэффициента трения:

$$K = \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha - f^2 \cos \alpha}, \tag{79}$$

L — длина образующей;

f — коэффициент трения сектора пуансона по конусу;

n — количество секторов;

α — угол конуса;

β — угол сектора;

$\sigma_в$ — предел прочности.

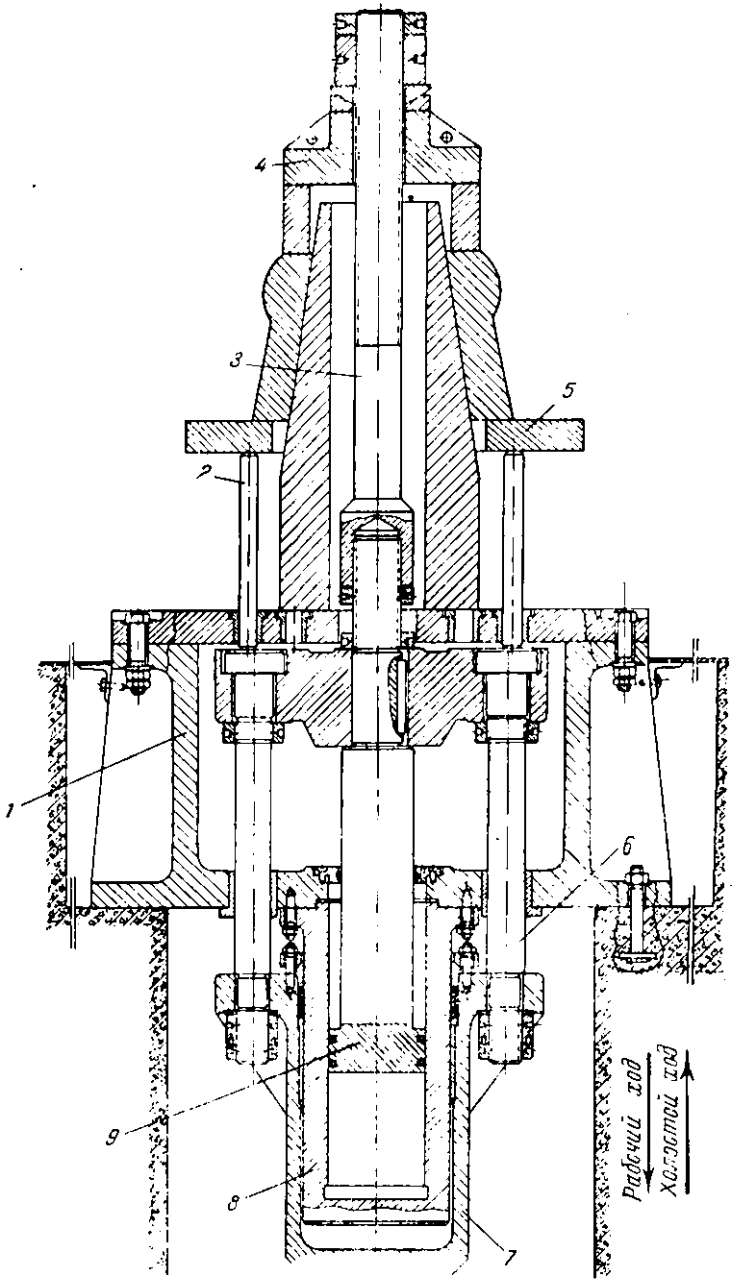


Рис. 118. Конструктивная схема пресса ПКД:

1 — станина; *2* — прижимная шпилька; *3* — тяга прижима; *4* — верхний прижим; *5* — траверса; *6* — колонка; *7* — силовой гидравлический цилиндр; *8* — плунжер силового гидравлического цилиндра; *9* — поршень холостого хода

Поскольку число секторов берется на менее $8 \div 12$, то, согласно расчету, при $n = 12$ выражение $n \sin \beta/2 = 3{,}13$ весьма близко к $\pi = 3{,}14$. Тогда

$$P = 2K\pi L S \delta_в. \qquad (80)$$

Следует отметить, что детали, отштампованные на прессах ПКД, имеют некоторую огранку поверхности, поскольку между секторами материал деформируется по прямой. С увеличением числа секторов огранка уменьшается, однако увеличение числа секторов более 12 встречает трудности в конструктивном оформлении. Уменьшение огранки может быть достигнуто путем штамповки детали в два перехода. При первом переходе производят разжим пуансонов не полностью, затем производят поворот заготовки на угол $\beta/_2$, после чего осуществляют окончательную формовку детали.

Прессы ПКД выпускают двух моделей. В табл. 19 приведены их характеристики.

Таблица 19

Техническая характеристика прессов типа ПКД

Основные данные	Модель	
	ПКД-1М	ПКД-2
Усилие гидроцилиндра при калибровке, *т*	400	100
Размеры обрабатываемых деталей, *мм*:		
максимальный диаметр	2000	1500
минимальный диаметр	500	400
максимальная высота обечайки	1500	1000
Наибольший ход траверсы, *мм*	500	520
Наибольшее давление в гидросистеме, *кГ/см²*	120	120
Мощность электродвигателя привода, *квт*	14	14
Габаритные размеры пресса, *мм*:		
длина	3700	5420
ширина	25000	2050
высота	1430	4135
Вес пресса, *т*	30	8

Глава VII

ОБКАТКА И РАСКАТКА

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Обкатка — процесс формоизменения заготовки при помощи ролика или давильника, обжимающего заготовку по вращающейся оправке (рис. 119). Оправка имеет форму внутреннего контура изготовляемой детали. Таким образом, из плоской заготовки получают полые детали формы тел вращения. Диаметр

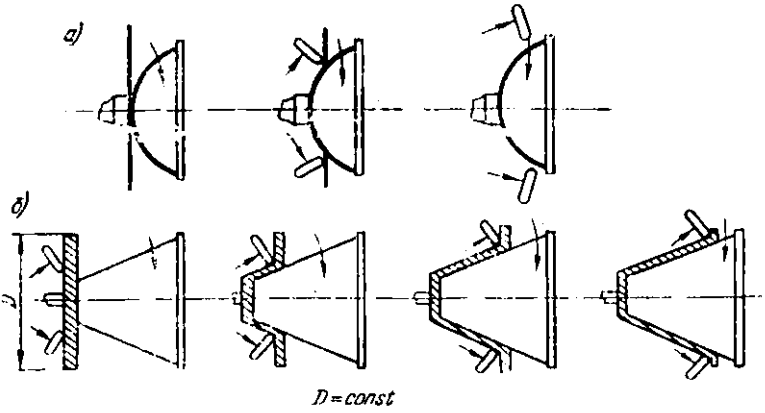


Рис. 119. Принципиальная схема процессов:
а — обкатки; *б* — раскатки

заготовки обычно значительно больше диаметра изделия и приближается по величине к сумме диаметра дна и двух образующих. Вследствие относительно небольших давлений ролика на материал при обкатке обычно применяют один ролик, что обусловливает неуравновешенную схему нагрузок на оправку. Процесс обкатки по существу сходен с процессом вытяжки. При обкатке толщина стенки детали может быть меньше (на 10÷15%), равна или даже несколько больше толщины металла заготовки. Утолщение стенок детали происходит за счет посадки металла.

Раскатка — процесс формоизменения плоской заготовки (или заготовок формы полого тела вращения) при помощи роликов, обжимающих заготовку по вращающейся оправке (рис. 119). При раскатке усилия много больше, поэтому требуется применение двух роликов, диаметрально располагаемых по отношению оправки, что уравновешивает усилия от них. Толщина заготовки значительно больше толщины стенки детали, а диаметр заготовки равен максимальному диаметру изделия. При раскатке материал заготовки значительно утоняется (до 90%). Процесс раскатки в принципе сходен с процессом протяжки.

Внешне оба процесса напоминают обработку на токарном станке. Необходимо отметить, что некоторые авторы книг по штамповке называют эти процессы по-разному, например давильные работы, выдавливание с утонением, выдавливание с утолщением, спинингование и др.

Терминология, принятая в данной книге, отражает сущность процессов и применяется наиболее часто.

По форме, которую можно получить при помощи обкатки и раскатки, детали можно разделить на четыре основные группы: 1) конические; 2) комбинированные с криволинейными образующими; 3) полусферические; 4) цилиндрические.

Обкатка и раскатка являются процессами формообразования деталей, которые в ряде случаев могут эффективно заменять вытяжку или гидроштамповку (при относительно небольших количествах изготовляемых деталей).

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБКАТКИ

Способом обкатки можно выполнять следующие операции: 1) выдавливание пустотелых деталей формы тел вращения; 2) проглаживание поверхности полых деталей после ступенчатой вытяжки; 3) выдавливание узких горловин на цилиндрических заготовках; 4) завивка кромок.

Характерные схемы процесса обкатки приведены на рис. 120.

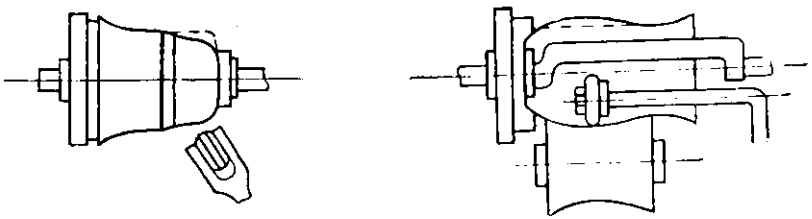


Рис. 120. Различные схемы обкатки

На рис. 121 показана последовательная деформация плоской заготовки при формообразовании детали со сложным контуром образующей.

В качестве заготовок можно применять диски из листового материала, конусы, цилиндры. Точность обкатанных деталей находится в пределах 0,001—0,002 их диаметра.

Экспериментально установлены оптимальные числа оборотов оправок для различных материалов детали (табл. 20).

Таблица 20

Оптимальные числа оборотов оправок в зависимости от материала

Материал детали	Число оборотов шпинделя в минуту
Сталь мягкая	400 – 600
Алюминий	800 – 1200
Латунь	1000 – 1100
Медь	600 – 800
Сплавы магния	600 – 1000

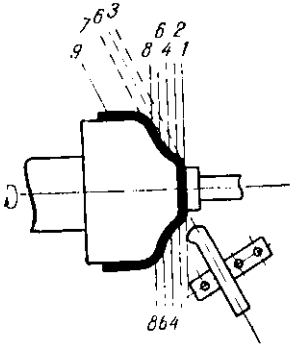


Рис. 121. Последовательность (обозначена цифрами) обкатки сложного профиля

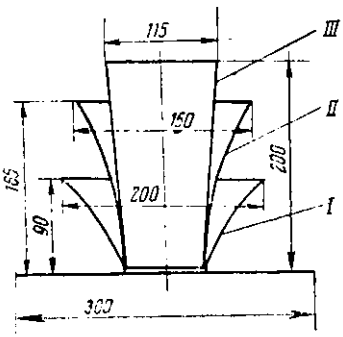


Рис. 122. Схема процессов обкатки за несколько переходов:
I—III номера переходов

Конические детали можно выдавливать при предельном отношении $d_{мин}/D = 0{,}2 \div 0{,}3$, где $d_{мин}$ — наименьший диаметр конуса.

Если деталь не может быть обкатана за одну операцию, то обкатку ведут за несколько последовательных переходов на разных оправках, но при одном и том же наименьшем диаметре оправки.

На рис. 122 приведен пример обкатки детали в три перехода с коэффициентами вытяжки $m_1 = 0{,}67$; $m_2 = 0{,}75$ и $m_3 = 0{,}77$.

Процесс обкатки сопровождается большими степенями формоизменения и упрочнения металла, поэтому часто прибегают к обкатке в несколько переходов с промежуточной термообработкой. Количество переходов зависит от отношения h/D (табл. 21), где h — глубина перехода; D — максимальный диаметр перехода.

Таблица 21

Необходимое количество переходов в зависимости от отношения h/D

h/D	до 1,0	1 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,5	5 ÷ 6
Количество переходов	1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6

Возможна обкатка при одновременном нагреве обкатываемой заготовки в зоне ее формоизменения, что в ряде случаев исключает промежуточную термообработку. Нагрев осуществляют при этом с помощью горелок. Горелки могут быть с сосредоточенным пламенем, т. е. обычные, применяемые при газовой сварке, и специальные, обеспечивающие обогрев больших поверхностей. Горелку устанавливают на суппорте стакана в диаметральном положении относительно ролика, производящего обкатку. Горелка перемещается одновременно с роликом, а металл при вращении оправки подается под ролик в нагретом состоянии. Заготовки из магния и титана, при формоизменении которых требуется подогрев, обкатывают по нагретой оправке или с подогревом при помощи горелок.

Процесс обкатки рекомендуется проводить с применением смазок, что улучшает чистоту поверхности детали и облегчает процесс формоизменения.

Для обкатки с подогревом применяют жаростойкие смазки, сохраняющие свойства при температурах 300—600° С. Хорошие результаты получаются при использовании коллоидального графита, разведенного тетрахлоридом. После обкатки смазку удаляют в щелочной ванне.

Для нержавеющих сталей при обкатке без подогрева в качестве смазки применяют мыло.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РАСКАТКИ

За последнее время раскатку все больше применяют при изготовлении крупногабаритных деталей с относительно толстыми стенками из высокопрочных сталей. Эффективно применение раскатки и при изготовлении деталей из менее прочных сталей и цветных сплавов.

Раскатка заменяет штамповку в инструментальных штампах. При крупных габаритах и толстых стенках деталей штамповку в инструментальных пуансонах выполняют в несколько переходов и требуют комплекта крупногабаритных штампов и мощного прессового оборудования. При раскатке необходимая оснастка элементарно проста.

Оправки можно изготовлять на тех же станках, на которых выполняют процесс раскатки. Прессовое оборудование при этом не нужно.

Если при крупносерийном и массовом производствах вытяжка в инструментальных штампах рациональна, то в малосерийном производстве преимущество остается за раскаткой, однако выбор того или иного варианта должен быть экономически обоснован.

Раскатка положительно влияет на качество материала заготовки. В табл. 22 приведены данные о пределе прочности материала до и после раскатки.

Таблица 22

Изменение предела прочности различных материалов от раскатки

Материал	$\sigma_в$ заготовки, *кГ/мм²*	$\sigma_в$ детали, *кГ/мм²*
Алюминий	12,6	16,2
Сталь мягкая	49,2	59,8
Сталь типа 18—8	56,2	68,9
Молибденовая сталь	63,3	101,9

Примечание. Приведенные в таблице данные получены при раскатке плоской заготовки на конус с углом 30°; толщина заготовки — 9,5 *мм*; утонение — 70%.

Раскаткой изготовляют полые изделия формы тел вращения с образующими самой разнообразной формы: прямолинейной, полуокружности, параболической, двойной кривизны (рис. 123) и др. При раскатке возможно формообразование стенок как постоянной, так и переменной толщины.

Раскатка имеет следующие достоинства:

1) прочность и твердость материала после раскатки увеличивается;

2) усталостная прочность возрастает (особенно материалов, чувствительных к надрезам);

3) раскатка обеспечивает высокую точность деталей, которая характеризуется следующими допусками: по толщине стенок величиной $\pm 0{,}05$ *мм*; а по внутреннему диаметру — от $\pm 0{,}05$ *мм* до $\pm 0{,}075$ *мм*;

4) чистота поверхности детали становится близкой к чистоте поверхности, получаемой после шлифовки (высота неровностей 0,15—0,20 *мк*), это исключает необходимость отделочных операций;

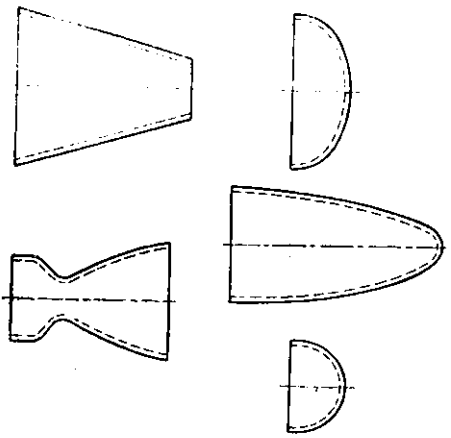


Рис. 123. Профили деталей, получаемых раскаткой

5) дефекты материала заготовки выявляются в процессе раскатки, что сокращает межоперационный брак;

6) в результате раскатки прочность сварных швов на заготовках повышается, материал шва приобретает свойства, почти не отличающиеся от свойств основного металла;

7) высоколегированные, нержавеющие стали и жаропрочные сплавы, трудно обрабатываемые резанием, в большинстве случаев легко формоизменяются при раскатке;

8) исключаются потери металла, так как обработка происходит без снятия стружки.

§ 4. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ

Рассмотрим формообразование конусной детали из плоской заготовки, имеющей форму диска. При раскатке диаметр заготовки, как правило, принимают равным максимальному диаметру конусной детали. Формоизменение заготовки происходит за счет ее утонения при смещении материала (сдвига). Объем

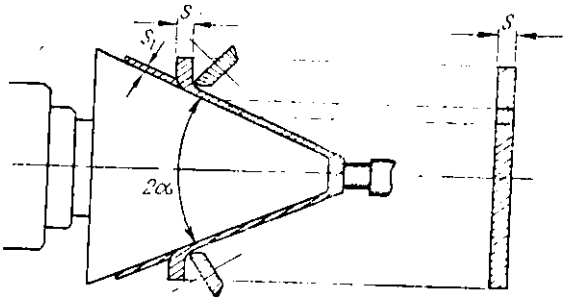


Рис. 124. Схема раскатки конуса

материала заготовки всегда будет равен объему материала детали.

Из рис. 124 легко увидеть, что толщина стенки детали является функцией синуса половины угла раствора конуса:

$$S_1 = S \sin \alpha, \qquad (81)$$

где S_1 — толщина стенки детали;

S — толщина стенки заготовки;

α — половина угла раствора конусной оправки.

Из формулы (81) видно, что толщина стенки детали не зависит от фактически установленного минимального зазора между роликом и оправкой. При зазорах, меньших расчетных, произойдет разрыв заготовки.

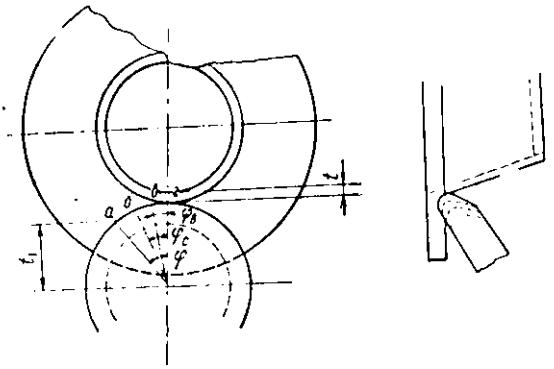


Рис. 125. Схема воздействия ролика на заготовку

Рассмотрим напряжения и деформации, возникающие в материале заготовки при ее формоизменении.

При вращении оправки ролик захватывает материал заготовки. За один ее оборот ролик продвигается вдоль образующей оправки в направлении большего диаметра на расстояние, равное продольной подаче.

Из схемы на рис. 125 видно, что ролик, касаясь заготовки, деформирует ее своей образующей по некоторой дуге a — $г$ с углом φ. Угол φ образован прямой, соединяющей центр ролика с центром оправки (в некотором поперечном сечении), с прямой, соединяющей центр ролика с точкой касания.

Рассмотрим деформацию элемента заготовки под воздействием ролика. Расстояние между образующей ролика и оправкой (зазор) в точке a, равное t_1, значительно больше минимального зазора, равного t. По мере поворота ролика и перемещения точки a в направлении к точке $г$ зазор изменяется в пределах от t_1 до t, что связано с деформированием элемента заго-

товки, захваченного роликом в точке *а*. Непрерывная последовательная деформация захватываемых элементов заготовки дает общую деформацию заготовки, придавая ей желаемую форму.

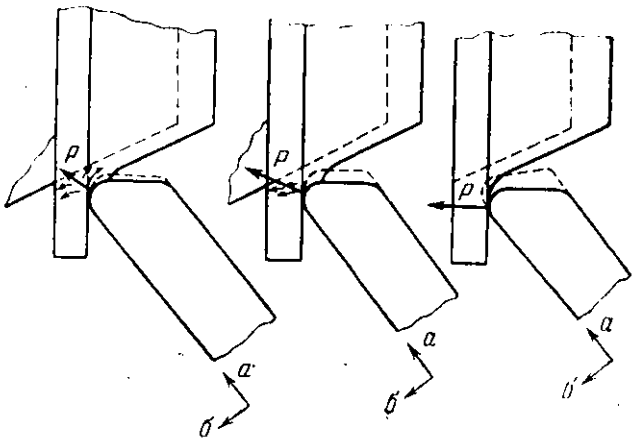


Рис. 126. Периоды деформирования при раскатке

Деформирование элемента заготовки можно разделить на три основных периода (рис. 125 и 126):

I период — на участке дуги *а — б* (угол $\varphi - \varphi_c$) происходит упругое деформирование элемента и вдавливание ролика в заготовку (с изгибом заготовки);

II период — на участке дуги *б — в* ($\varphi_c - \varphi_в$) элемент сдвигается;

III период — на участке дуги *в — г* (угол $\varphi_в$) происходит выдавливание элемента.

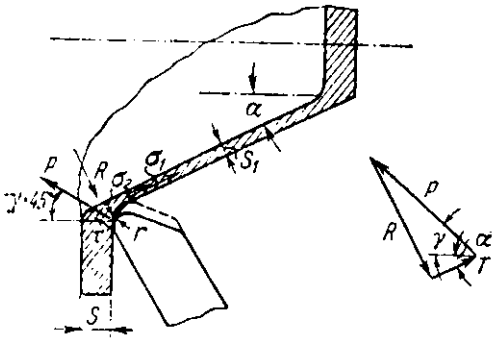


Рис. 127. Схема сил, действующих в зоне формоизменения при раскатке

Деформирование в течение этих трех периодов отличается по характеру, величине и направлению действующих усилий, а также возникающих напряжений.

Поскольку накатывание ролика непрерывно, все три периода деформирования происходят одновременно с некоторым смещением в пространстве и оказывают влия-

ние друг на друга. В первом приближении можно считать, что на деформируемый элемент заготовки действуют три основных силы.

Усилие P со стороны ролика (рис. 127) действует по дуге соприкосновения рабочего радиуса ролика с заготовкой. Направление вектора P соединяет центр рабочего радиуса ролика r с серединой дуги соприкосновения.

Реакция оправки R нормальна к ее поверхности. Сила сцепления деформируемого элемента с частью заготовки, деформированной ранее, касательна к поверхности оправки. С целью упрощения считаем (в первом приближении), что все силы действуют в плоскости чертежа. В действительности сила P действует под некоторым углом к плоскости чертежа, уходя в глубь его.

Сделанное допущение лишь несколько влияет на положение дуги соприкосновения ролика с заготовкой.

Из треугольника сил нетрудно видеть, что

$$T = P \cdot \cos(\gamma + \alpha),$$

следовательно,

$$T = P(\cos\gamma \cos\alpha - \sin\gamma \sin\alpha), \tag{82}$$

т. е. сила, растягивающая уже сдеформированную часть заготовки, зависит от силы нажатия P.

Известно, что при пластическом деформировании

$$\sigma_s = 2\tau. \tag{83}$$

Если $\sigma_2 = \sigma_3$ (что приемлемо для рассматриваемого примера), то

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 1{,}15\,\sigma_s, \tag{84}$$

где σ_s — истинное напряжение предела текучести материала;

τ — минимальное сопротивление сдвига;

σ_1 — одно из главных напряжений (для случая раскатки — напряжение, возникающее под действием силы T);

σ_2 и σ_3 — два других главных напряжения (для случая раскатки — напряжения сжатия, возникающие под действием силы R).

Известно также, что $\tau_{мин}$ расположено под углом 45° к направлению деформирования, которое в данном случае горизонтально (P имеет направление под углом 45° к горизонтальной оси оправки, т. е. $\gamma \approx 45°$).

Тогда

$$T = 0{,}707P(\cos\alpha - \sin\alpha), \tag{85}$$

$$\sigma_1 = \frac{T}{1 \cdot S_1} = \frac{0{,}707}{1 \cdot S_0} P \frac{\cos\alpha - \sin\alpha}{\sin\alpha}, \tag{86}$$

$$\tau = \frac{0{,}707}{S} P = \frac{\sigma_s}{2}. \qquad (87)$$

Если фактический минимальный зазор t_1[1] между роликом и оправкой больше теоретического, обусловливаемого соотношением $S_1 = S \sin \alpha$, то $\sigma_2 = 0$ и $\sigma_1 = \sigma_s$. Подставляя значения σ_1 и σ_s из формул (86) и (87) и сокращая оба равенства на 0,707 P/S, получим:

$$\frac{\cos \alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha} = 2. \qquad (88)$$

Это выражение справедливо при угле $2\alpha = 37°$, т. е. минимальном угле, при котором возможна раскатка с чистым сдвигом.

Если фактический минимальный зазор между роликом и оправкой t_1 будет меньше теоретического, то σ_2 всегда больше нуля, и формула (84) примет вид:

$$\sigma_1 > 1{,}15\sigma_s. \qquad (89)$$

После подстановки значений σ_1 и σ_3 и аналогичных преобразований получим:

$$\frac{\cos \alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha} > 2{,}3. \qquad (90)$$

Это выражение справедливо при угле $2\alpha < 33°10' \approx 34°$. Максимально возможное значение для σ_2 будет при максимальном R, которое можно получить из формулы:

$$R_{\text{макс}} = 0{,}707P(\cos \alpha - \sin \alpha). \qquad (91)$$

Эта сила воспринимается площадкой

$$\frac{1 \cdot S_0}{\cos \alpha},$$

следовательно,

$$\sigma_{2\ \text{макс}} = \frac{0{,}707}{1 \cdot S_0} P(\cos \alpha + \sin \alpha) \cos \alpha. \qquad (92)$$

Подставляя значения в формулу (84), после соответствующих преобразований имеем:

$$\frac{\cos \alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha} - (\cos \alpha + \sin \alpha) \cos \alpha = 2{,}3. \qquad (93)$$

Формула (93) справедлива при $2\alpha = 25°40' \approx 26°$. Анализ формул (88), (90) и (93) позволяет сделать выводы, что если пластические свойства металла допускают деформирование в пределах $(S - S_1) \cdot 100\%$, то возможности деформирования

[1] Фактический минимальный зазор — зазор, получаемый под нагрузкой в процессе раскатки, а не установленный в ненагруженном состоянии.

не зависят от других прочностных свойств материала, так как в указанных формулах нет значений сил и напряжений. Практически это подтверждается тем, что такие металлы, как С20, 1Х18Н9Т, Д1Ам и БрХО3-ХК при раскатке обладают почти одинаковыми свойствами.

Если фактический зазор t_1 между роликом и оправкой больше теоретического, определяемого по формуле (81), то процесс формоизменения происходит за счет деформаций сдвига. В этом случае предельный угол раствора конуса, при котором можно раскатать плоскую заготовку, составляет 37°, однако этот предельный угол ограничивается еще пластическими свойствами материала заготовки, которые должны допускать уменьшение толщины на размер $S - S_1$.

При фактическом зазоре t_1, меньшем теоретического, процесс раскатки совершается с одновременным сдвигом и выдавливанием. В этом случае предельный максимальный угол раствора конуса [см. формулы (90) и (93)], обеспечивающий возможность раскатки конуса из плоской заготовки, составляет 34÷36°, в зависимости от величины реакции оправки. При этом следует учитывать пластические свойства металла: металл должен допускать деформирование без нарушения на $S - S_1$. Практически удовлетворить условиям (81) и (83) невозможно.

Минимальный угол раствора конуса, при котором возможна раскатка без нарушения целостности материала, равен 30°. Следует отметить, что даже самый пластический металл нельзя раскатать из плоской заготовки для конусной детали с углом раствора конуса меньше 30°.

Если пластические свойства материала не позволяют деформировать его на величину $(S - S_1) \cdot 100\%$, то сплошность материала нарушается при сдвиге.

Предельный угол раствор конуса для малопластичных материалов можно определить из формулы $(1 - \sin\alpha) \cdot 100\% < \psi$ где ψ — относительное сужение для данного материала.

§ 5. ЗАГОТОВКИ И ИХ РАСЧЕТ

Основным исходным положением при расчете плоской заготовки является равенство объемов детали с учетом припусков и заготовки, т. е.

$$V_{заг} = V_д + V_{пр}, \tag{94}$$

где $V_{заг}$ — объем материала заготовки;
$V_д$ — объем материала детали;
$V_{пр}$ — объем материала припусков.

Зная размеры детали по чертежу и намечая схему формоизменения, можно определить необходимые размеры заготовки, если использовать формулу (94).

Рассмотрим особенности проектирования заготовок для конусных деталей, имеющих угол раствора менее 30°. Анализом, проведенным в § 4, установлено, что невозможно раскатать из плоской заготовки деталь с углом раствора конуса менее 30°. Вторым ограничением является допустимый предел формоизменения. При условиях, превышающих допустимые пределы, раскатку ведут в два или несколько переходов.

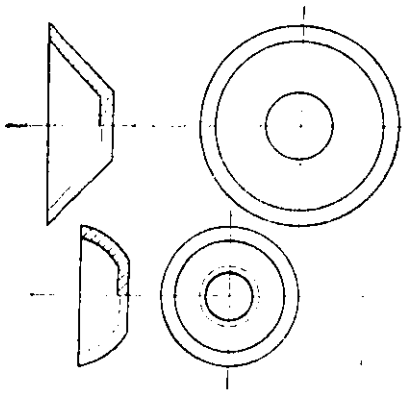


Рис. 128. Чашеобразная заготовка

В ряде случаев, если необходимо получить конусные детали с углом раствора меньше 30°, применяют чашеобразные заготовки. Такая заготовка (рис. 128) допускает уменьшение предельного угла.

Чашеобразная заготовка может быть литой, кованой, обработанной на металлорежущем станке или полученной методом обкатки из плоской заготовки. В этом случае чашеобразная заготовка является как бы первым переходом операции обкатки, выполняемой в два перехода. Возможна обкатка и с большим числом переходов.

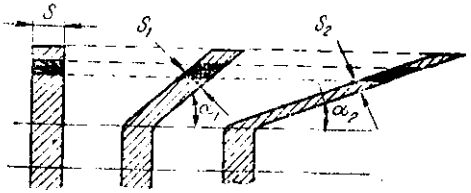


Рис. 129. Схема обкатки в два перехода

В случае многопереходной обкатки (рис. 129) соотношение толщин можно выразить формулой:

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= S \sin \alpha_1 \\ S_2 &= S \sin \alpha_2 \\ &\cdots\cdots \\ S_n &= S \sin \alpha_n \end{aligned}\right\}, \qquad (95)$$

откуда $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$. Если обозначить через ψ абсолютное утонение, то

$$\psi = \frac{S_1 - S_2}{S_1} 100\%,$$

откуда

$$\frac{S_2}{S_1} = 1 - \frac{\psi}{100},$$

где ψ выражено в процентах.

Подставим значения S_1 и S_2, выраженные через толщину заготовки,

$$\frac{S \sin \alpha_1}{S \sin \alpha_2} = 1 - \frac{\psi}{100} = 1 - 0{,}01\varphi.$$

После преобразования

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \alpha_2}{1 - 0{,}01\psi}. \qquad (96)$$

По формуле (96) можно рассчитать предельный угол чашеобразной заготовки.

Пример. Деталь в форме конуса должна иметь угол раствора $\alpha_2 = 10°$. Определить угол наклона стенок α_1 чашеобразной заготовки при условии, что материал допускает утонение до 70%.

Решение:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \alpha_2}{1 - 0{,}01\psi} = \frac{\sin 10°}{1 - 0{,}01 \cdot 70} = \frac{0{,}174}{1 - 0.7} = 0{,}58,$$

что соответствует углу $\alpha_1 = 35°$.

Угол α_1 желательно несколько уменьшить. Это облегчит условия формоизменения.

Регулируя с помощью следящего устройства подачу роликов, можно получать детали с утолщениями и фланцами (рис. 130).

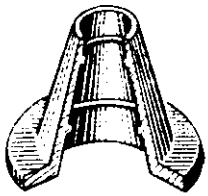


Рис. 130. Деталь с переменной толщиной стенки и утолщениями, изготовленная раскаткой

На рис. 131 показаны заготовки чашеобразной формы для получения деталей сложной геометрической формы.

Детали, имеющие переменную толщину стенки, получают из заготовок дисковой формы с переменной толщиной по радиусу (рис. 132). Заготовки рассчитывают по нескольким точкам, используя синусоидальную зависимость между толщинами стенок детали и ее заготовки.

Следовательно,

$$S = \overline{S};$$

$$S_1 = \frac{\overline{S}_1}{\sin \alpha};$$

$$S_2 = \frac{\overline{S}_2}{\sin \alpha};$$

. . . . . .

$$S_n = \frac{\overline{S}_n}{\sin \alpha},$$

где S, S_1, S_2, ..., S_n — толщина стенок заготовки детали;

$\overline{S}$, $\overline{S_1}$, $\overline{S_2}$, ..., $\overline{S_n}$ — толщина соответствующей стенки детали.

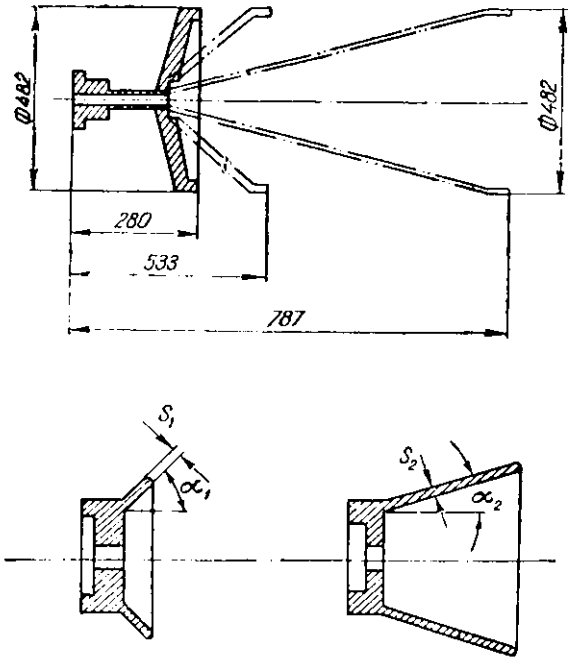


Рис. 131. Раскатка деталей сложной формы из чашеобразных заготовок

Пользуясь этими соотношениями, можно произвести расчет толщины стенки детали, получаемой из данной заготовки.

Толщина стенки переменной величины может быть получена при криволинейных образующих оправки (рис. 133) из плоской заготовки. Для расчета используют ту же синусоидальную зависимость, но в данном случае постоянной величиной будет толщина заготовки S, а переменной — sin угла α, изменяющийся вдоль образующей.

Для получения деталей с постоянной толщиной стенки при обкатке по оправке с криволинейной образующей необходима заготовка переменной толщины. Размеры такой заготовки получают из той же синусоидальной зависимости. Для этого

определяют синусы углов по оправке в нескольких характерных точках:

$$S_1 = \frac{S}{\sin \alpha_1},$$

$$S_2 = \frac{S}{\sin \alpha_2};$$

. . . . . .

$$S_n = \frac{S}{\sin \alpha_n}.$$

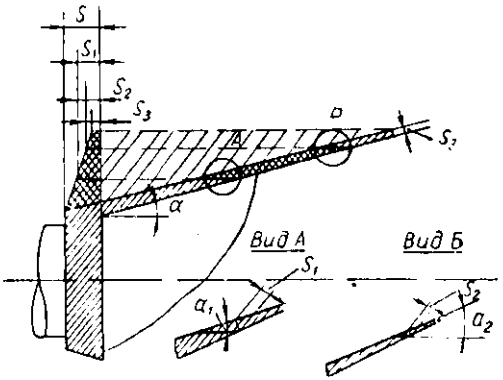


Рис. 132. Раскатка детали из заготовок переменной толщины

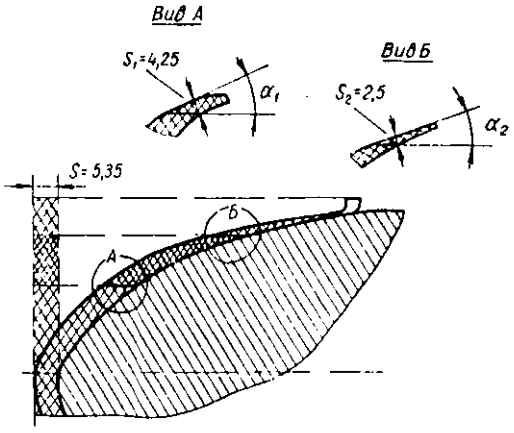


Рис. 133. Раскатка детали ожевальной формы с переменной толщиной стенки

Для уменьшения усилий при обкатке, а также для получения допустимых степеней формоизменения заготовки должны поступать в отожженном состоянии.

При расчете и проектировании конусных заготовок для формообразования деталей сложных контуров сказанное выше о плоских заготовках остается в силе. Однако, кроме этого, необходимо правильно выбрать начальные диаметры конусной заготовки. Диаметры выбирают так, чтобы удлинение кромок обоих торцов конуса было примерно одинаковым и меньше относительного удлинения для данного материала. Диаметр конусной заготовки определяют графическим методом. Вычерчивают контур изделия (рис. 134) и проводят прямую линию из точки B касательно к контуру (линия $АБ$). Участок AB делят пополам. Размер $a = АГ = ГВ$ откладывают на прямой $ОБ$. Из точки E проводят прямую $ЕГ$, которую принимают как образующую конуса заготовки. Такое построение заготовки при ее формоизменении до размеров изделия на чертеже обеспечивает равенство удлинения кромок.

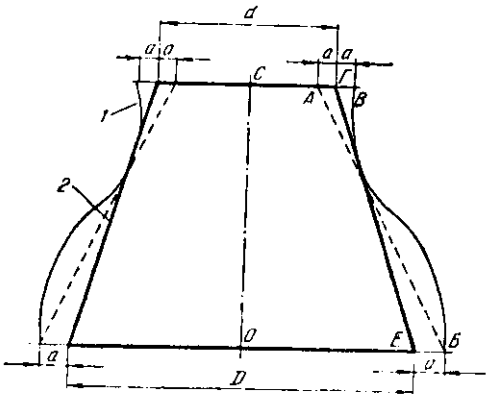


Рис. 134. Схема графического расчета конусной заготовки:
1 — контур изделия; *2* — контур заготовки

§ 6. ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ПРИ ОБКАТКЕ И РАСКАТКЕ

1. Оборудование

Для обкатки можно использовать обычные токарные станки, на суппорте которых устанавливают ролики или специальные давильники. Ролик можно передвигать вдоль оси оправки, а также в поперечном направлении вручную или автоматически с применением программного управления.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает специальные станки для обкатки, имеющие различные характеристики. Наиболее удобен для обкатки станок ТТ-53 токарного типа.

Техническая характеристика станка ТТ-53

Высота центров, *мм*	500
Максимальный диаметр изделия, *мм*	900
Минимальный диаметр изделия, *мм*	80
Максимальная длина изделия, *мм*	900

Максимальное перемещение поперечного суппорта, *мм*	250
Максимальное усилие продольной подачи, *т*	4,5
Максимальное усилие поперечной подачи, *т*	5,5
Мощность главного двигателя, *квт*	14

Для обкатки используют также станки карусельного типа (рис. 135). Особенностью этого станка является выдвижной стол, на котором закрепляют оправку. На оправку устанавливают

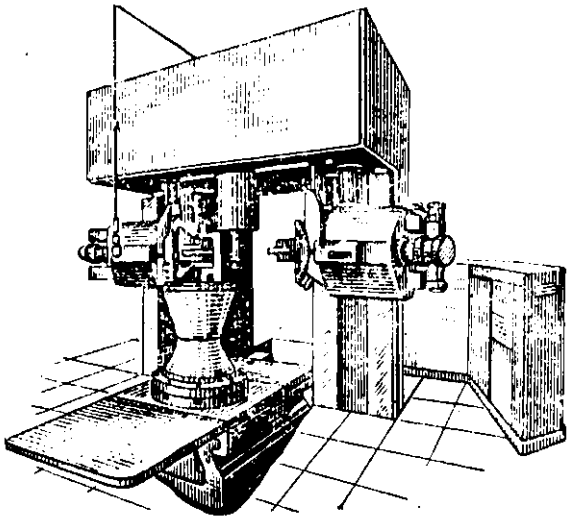


Рис. 135. Общий вид станка карусельного типа для обкатки

заготовку при выдвинутом столе. Станок имеет два суппорта с диаметральным расположением роликов.

Изменение числа оборотов шпинделя бесступенчатое — от 10 до 350 *об/мин*, регулирование продольной подачи шпинделя также бесступенчатое — в пределах 2 ÷ 30 *мм*.

Ролик перемещается по вертикали возвратно-поступательно. Станок снабжен аппаратурой для программирования рабочего процесса, возможно также ручное управление или по копирам. На станке предусмотрена установка для нагрева заготовок, возможна подрезка кромок и прижим плоской заготовки к оправке. Станок оборудован устройствами для съема готовых деталей с оправки. Толщина обрабатываемых заготовок зависит от материала и допускается для алюминиево-магниевых сплавов — до 10 *мм;* титановых сплавов — до 5 *мм;* среднелегированных сталей — до 4 *мм*.

Для раскатки применяют более мощные станки карусельного типа (рис. 136), допускающие обкатку деталей диаметром до 1000 *мм* и длиной до 1600 *мм*. При утонении стенки

за один проход до 70% толщина материала заготовки может быть: для алюминиево-магниевых сплавов — до 25 *мм;* для титановых сплавов — до 20 *мм;* для среднелегированных сталей — до 12 *мм.*

Регулирование величины давления роликов и числа оборо-

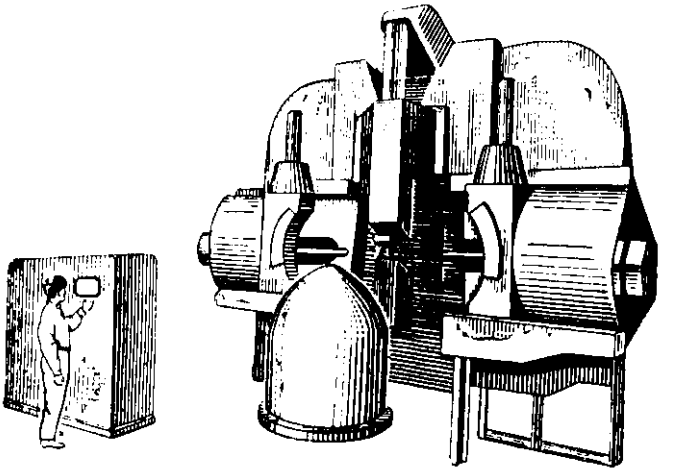


Рис. 136. Общий вид станка карусельного типа для раскатки

тов шпинделя бесступенчатое. Продольная подача суппорта — от 5 до 700 *м/мин,* а число оборотов шпинделя в минуту — от 50 до 1000.

Работа на станке возможна от ручного управления с пульта, по полуавтоматическому циклу — от копира, а также от блока программного управления. На станке торцуют и обрезают донышко, обтачивают и шлифуют оправку, а также записывают программу при изготовлении первой детали.

Наиболее перспективно оборудование давильных станков с системой программного управления. Фазовая стоп-стартовая система с функциональным преобразователем, разработанная в Московском высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана, может быть эффективной в применении к станкам для раскатки.

2. Оснастка

Оправки для обкатки

При пластичных материалах и небольших толщинах оправки можно изготовлять из облагороженной древесины или из пластмасс.

Оправки для раскатки

Ввиду больших усилий, свойственных раскатке, оправки изготовляют из инструментальных и углеродистых сталей или из чугуна.

Поверхность оправок должна быть высокого качества, поскольку все неровности получают отпечаток на внутренней поверхности детали, что затрудняет съем детали с оправки. Оправки закаливают, шлифуют и полируют.

Чаще всего оправки изготовляют на станках, используемых для раскатки, хотя это не исключает возможности изготовления оправок и на других станках.

При обкатке деталей, имеющих двойную кривизну или вогнуто-выпуклую поверхность, применяют разъемные оправки, сочленяемые между собой при помощи резьбовых соединений (рис. 137).

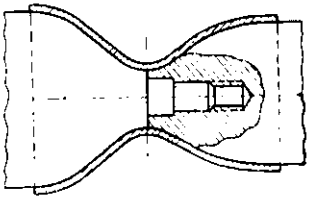


Рис. 137. Разъемная оправка

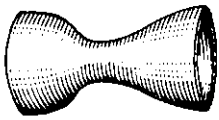


Рис. 138. Деталь сложной формы, раскатанная на разъемной оправке

Поскольку резьбовое соединение не обеспечивает совпадения кромок торцов сочленяемых частей оправки, необходимо предусматривать направляющую в виде цилиндрической части на соединяющем винте.

На рис. 138 показана деталь с вогнуто-выпуклой поверхностью, изготовленная на разъемной оправке. Эту деталь из стали типа 18—8 получают в четыре прохода без промежуточной термической обработки.

Давильники

Для обкатки применяют роликовые и безроликовые давильники.

Раскатку производят роликовыми давильниками, так как на поверхности контакта давильника с материалом заготовки возникают большие давления. Применение безроликовых давильников для раскатки может вызвать повреждение поверхности материала заготовки.

Для давильников подбирают материалы, не имеющие склонности к налипанию материала заготовки. Кроме того, приме-

няют специальные смазки, препятствующие налипанию. Давильники изготовляют из сталей типа ХВГ, 9ХС и других с последующей термообработкой до $R_c = 58—62$, а также из бронзы. Чистота поверхности рабочей части давильника должна быть доведена до ▽9 класса.

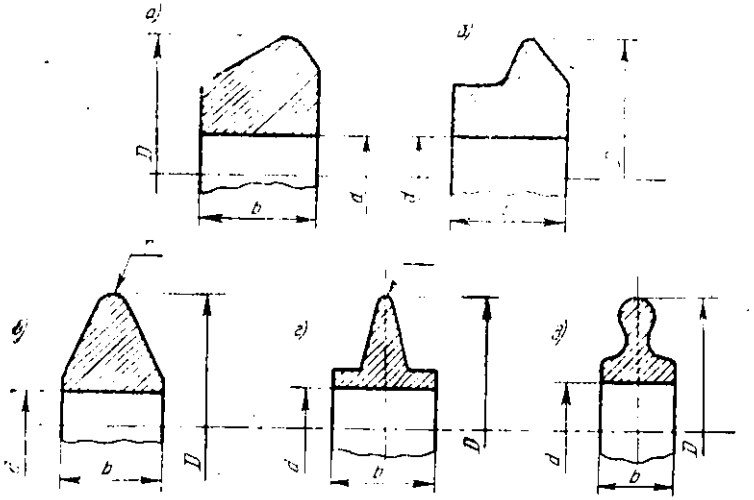


Рис. 139. Ролики для раскатки и обкатки:
а и *б* — для раскатки; *в*, *г* и *д* — для обкатки

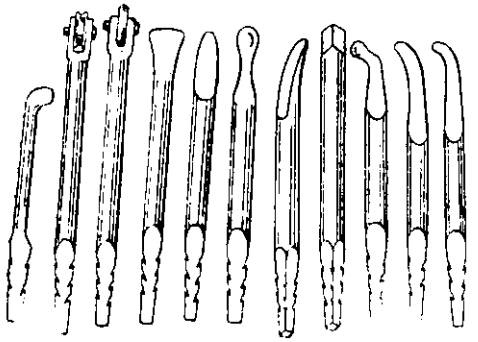


Рис. 140. Конструкции безроликовых давильников

Конструкция роликов имеет особенности. Диаметр оси ролика должен быть рассчитан на максимально возможную нагрузку и удельное давление. Оно может быть уменьшено увеличением размера l — длины оси. На рис. 139 приведены различные формы профилей роликов. Ролики с профилями, показанные на рис. 139, *а*, *б*, применяют при раскатке. Для обкатки используют ролики, показанные на рис. 139 *в*, *г*, *д*.

Уменьшение рабочего радиуса ролика r понижает площадь контакта, что повышает удельное давление на заготовку. Так

же повышается удельное давление при уменьшении диаметра ролика D от 60 до 300 *мм*. D принимают в зависимости от диаметра формоизменяемой заготовки, при этом чем больше диаметр заготовки, тем больше должен быть диаметр ролика.

Ролики устанавливают в державку, закрепляемую на суппорте станка.

Безроликовые давильники, применяемые при обкатке, могут быть разных конструкций (рис. 140). Обычно к станку полагается набор соответствующих роликов и давильников.

Глава VIII

ШТАМПОВКА ВЗРЫВОМ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В последнее время при внедрении листовой штамповки в производство встречаются определенные трудности, вызванные стремлением использовать в конструкциях высокопрочные металлы и увеличением габаритов штампуемых деталей, которые в большинстве случаев штампуются плохо.

Штамповка крупногабаритных деталей из высокопрочных металлов требует применения мощных и дорогостоящих прессов, а также сложной и трудоемкой оснастки, что ведет к повышению стоимости штампованных изделий. Весьма перспективным технологическим процессом, отличающимся большой экономичностью и пригодностью для изготовления крупногабаритных изделий из листовых металлов, является штамповка изделий с применением энергии взрывчатых веществ.

Интерес к штамповке энергией взрывчатых веществ (ВВ) не случаен. Он основывается на том, что ВВ обладают большим запасом энергии в небольшом объеме. Эта энергия выделяется при взрыве в течение очень короткого времени, что дает возможность получить огромные мощности. При штамповке взрывом значительно упрощается основное оборудование и штамповочная оснастка, габариты деталей ничем не ограничиваются, расход ВВ сравнительно мал, а стоимость их низка.

Взрывной штамповкой можно выполнить многие операции: обрезку по контуру, просечку отверстий, формовку, вытяжку, обтяжку, гибку и даже объемную штамповку.

В настоящее время известен целый ряд различных схем использования энергии взрыва для формоизменения заготовок. Энергия взрыва может воздействовать как непосредственно на заготовку, так и через промежуточные среды.

Выбор схемы штамповки существенно влияет на успех применения метода взрывной штамповки и зависит от габарита формоизменяемой заготовки, необходимой операции формоизменения, материала заготовки, необходимой точности и ряда других факторов.

Метод взрывной штамповки имеет ряд достоинств, выгодно отличающих его от других методов формоизменения и делающих этот метод в ряде случаев незаменимым. К ним относятся:

1) особенности физической сущности процесса скоростного деформирования, которые обеспечивают: а) возможность штамповки ряда относительно хрупких материалов, не поддающихся формоизменению другими методами; б) отсутствие явлений налипания материала при штамповке титановых сплавов и нержавеющих сталей; в) более высокую степень формоизменения за один переход; г) повышенную точность деталей по сравнению с другими методами вследствие незначительного пружинения; д) повышение прочностных характеристик формоизменяемого металла;

2) возможность штамповки без прессового оборудования, что при крупногабаритных деталях имеет важное значение;

3) возможность деформирования деталей без ограничения их габаритов;

4) простота и дешевизна оснастки; штампы можно изготовлять из недорогих легко обрабатываемых материалов;

5) возможность применения для штампов материалов, обладающих невысокими прочностными характеристиками, поскольку при взрывной штамповке стойкость материалов штампа повышается за счет инерции его массы, которая противостоит взрывному импульсу;

6) обеспечение условий скоростной переналадки производства (условий гибкости производства), что является следствием указанных выше пунктов 2—5. Обеспечение условий гибкости производства делает эффективным этот метод в мелкосерийных и даже опытных производствах.

Взрывную штамповку можно выполнять в помещениях цехов и на специальных полигонах, что зависит от применяемых схем штамповки, а также от мощностей необходимых взрывов.

§ 2. РАЗНОВИДНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

К взрывчатым веществам, используемым для штамповки, предъявляют следующие эксплуатационные требования: 1) безопасность в обращении; 2) стабильность свойств; 3) высокая скорость взрывной реакции; 4) простота способа возбуждения взрывной реакции; 5) водоустойчивость; 6) невысокая стоимость.

Основными свойствами ВВ, которые имеют значение при их выборе для высокоскоростной штамповки, являются развиваемое давление, скорость детонации и энергия.

Различают два основных типа взрывчатых веществ или смесей: 1) метательные (порох или быстрогорючие смеси);

2) бризантные (быстродействующие ВВ и смеси). Их отличают по скорости перехода в газообразное состояние.

Порох и быстрогорючие смеси позволяют в достаточной мере контролировать и управлять процессом их горения, а следовательно, и нарастанием давления во времени. Максимальное давление при горении порохов можно получить в начале, конце или в любой другой момент горения. Давление продуктов сгорания порохов достигает 14000 *кг/см*^{2}, что вполне достаточно для большинства листоштамповочных процессов. Штамповка изделий из листовых металлов непосредственным воздействием продуктов сгорания порохов и смесей на деформируемый металл или через податливые среды пригодна для изготовления сравнительно мелких деталей, так как штампы в процессе деформации должны быть плотно закрыты. Удержать штампы в закрытом состоянии при штамповке крупногабаритных деталей вследствие высоких давлений продуктов сгорания очень трудно. Штампы в этих случаях должны иметь сложные запирающие устройства. Применение газовых смесей связано с некоторыми трудностями, так как для получения высоких давлений продуктов сгорания необходимо предварительное сжатие смеси, что усложняет технологическую оснастку. Поэтому штамповка крупногабаритных изделий из листовых металлов непосредственным давлением продуктов сгорания порохов и газовых смесей вряд ли найдет широкое применение.

Наиболее перспективным для изготовления крупногабаритных изделий из листовых металлов является применение в качестве энергоносителей бризантных ВВ. Их использование в листоштамповочном производстве исключает недостатки, которые бывают при штамповке порохами и горючими смесями. Поэтому основное внимание предприятий уделяется этому методу.

В табл. 23 приведены данные некоторых ВВ, применяемых при обработке металлов давлением.

Таблица 23

Техническая характеристика ВВ

Наименование ВВ	Консистенция	Удельный вес, *г/см*^{3}	Теплота взрыва, *ккал/кг*	Скорость детонации, *м/сек*	Срок хранения	Стоимость 1 *кг*, руб
Тротил	Литой	1,5—1,58	1010	6700 - 6800	Неограниченный	0,7
Тротил	Прессованный	1,45 – 1,5	1010	5700—6000	То же	1,5
Аммонит	Прессованный	1,49—1,5	1270	6000—6900	6 месяцев	0,73
Ацетилен	Твердый	0,73	1870	2500	—	—
Дымный порох	Россыпь	1,0	720	400	Неограниченный	1,48

Всем требованиям, предъявляемым к взрывчатым веществам, наиболее полно удовлетворяют заряды из прессованного тротила, подрываемые с помощью электродетонаторов. Кроме того, применение тротила удобно также и потому, что он считается стандартным ВВ, и все расчеты в теории взрыва принято выполнять прежде всего на случай использования тротиловых зарядов.

Для штамповки некоторых изделий из листовых металлов иногда требуется придать ударной волне определенную форму или создать местное усиленное воздействие ударной волны. Взрывчатые вещества допускают получение ударных волн практически любой конфигурации и действующих в любом направлении. Это достигается приданием заряду соответствующей формы, применением кумулятивных зарядов (зарядов, дающих направленные взрывы), созданием локализаторов или применением комбинированных зарядов, составленных из нескольких ВВ, имеющих различные скорости детонации. Так, для получения ряда изделий (гофрированных панелей, коробчатых деталей, чеканки и т. п.) желательно, чтобы фронт падающей волны был плоским. Такой фронт нельзя получить даже при плоском (листовом) заряде ВВ.

Для получения плоского фронта ударной волны применяют заряд, состоящий из трех ВВ, имеющих большую разницу в скорости детонации. Схема такого заряда показана на рис. 141.

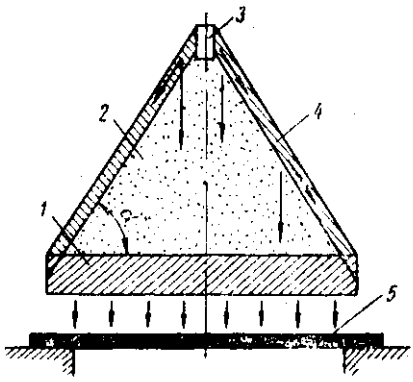


Рис. 141. Расположение ВВ в заряде для получения плоского фронта падающей волны

Детонатор *3*, выполняемый из гремучей ртути или из азида свинца, крепят таким образом, чтобы он подрывал вспомогательный заряд *4*, имеющий большую скорость детонации. Между вспомогательным и осноьным зарядом *1* находится взрывчатое вещество *2* с малой скоростью детонации. Вспомогательный и основной заряды расположены друг к другу под углом α, а синус этого угла выбирают равным отношению скоростей детонации переходного заряда *2* и вспомогательного заряда *4*. Такой комбинированный заряд дает возможность получить при взрыве плоскую ударную волну, направленную на деформируемый материал *5*.

Из взрывчатых веществ можно получить заряды любой формы путем отливки или применяя пластифицированные ВВ, ко-

торым легко придать любую форму даже руками. Взрывчатые вещества обычно выпускают в виде зерен, шашек различной геометрии, листов и шнуров.

В зависимости от формоизменяемой заготовки, способа штамповки взрывом, необходимых импульсов выбирают марку и соответствующую форму заряда.

§ 3. СПОСОБЫ ШТАМПОВКИ ВЗРЫВОМ И ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В настоящее время известен ряд схем использования энергии взрыва для формоизменения заготовок.

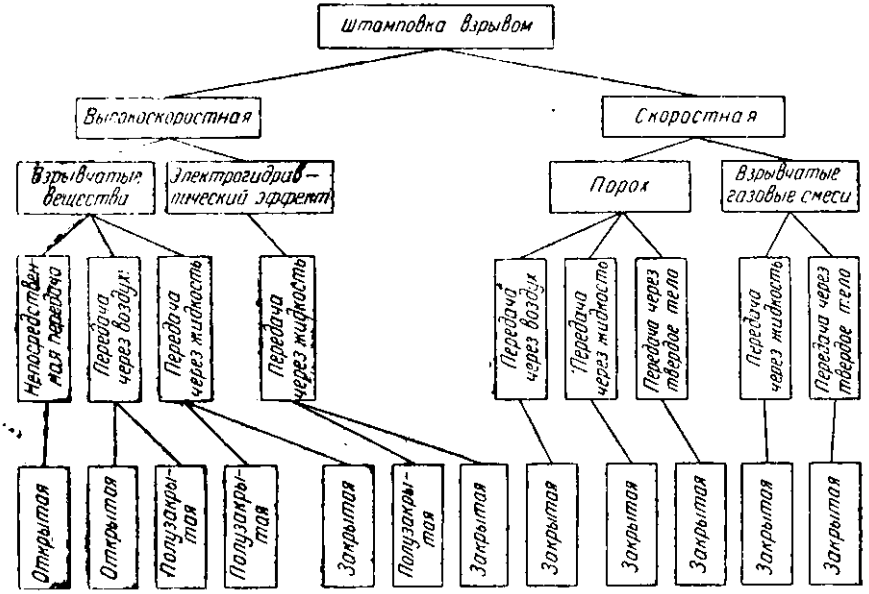


Рис. 142. Классификация скоростных методов штамповки

Все способы штамповки взрывом можно классифицировать по следующим признакам (рис. 142): 1) по виду применяемой энергии, т. е. по физической сущности протекания процесса, в основе которой лежит скорость формоизменения; 2) по способу передачи энергии взрыва на формоизменяющую заготовку; 3) по типу применяемых конструкций установок.

1. Классификация штамповки по виду применяемой энергии

По виду применяемой энергии следует различать: 1) высокоскоростные способы, при которых применяют в качестве источника энергии бризантные ВВ или энергию электрического

разряда в жидкости. Процесс штамповки при этом протекает в течение микросекунд; 2) скоростные способы, при которых процесс протекает в течение миллисекунд. При этом используют порох, гремучий газ, сжатые взрывчатые газовые смеси.

Высокоскоростные способы наиболее универсальны. Они особенно эффективны при штамповке деталей из относительно малопластичных сплавов, а также при необходимости повышения механических свойств металла получаемой детали.

Высокоскоростные способы при использовании бризантных ВВ отличаются простотой установок для штамповки. Электрогидравлический эффект при штамповке требует применения более сложных установок. Успешное применение высокоскоростных способов штамповки зависит от точности подбора величины заряда, его формы, определения места расположения заряда относительно формоизменяемой заготовки, а также необходимого вакуума в объеме матрицы, в которую заготовка вдавливается взрывной волной. Соблюдение этих условий связано с некоторыми трудностями.

Для скоростных способов требуются более сложные установки, однако меньшая интенсивность взрывного эффекта и возможность штамповки в цехе делают эти способы желательными в ряде случаев. Кроме того, на выбор способа влияет геометрия штампуемых деталей, и иногда она делает скоростное деформирование более эффективным по сравнению с высокоскоростным способом.

2. Классификация штамповки по способу передачи энергии взрыва

Энергия взрыва от ВВ на заготовку может передаваться через твердые, жидкие и газообразные среды, но наибольшее распространение получила штамповка в жидкостях (в воде). При взрыве в воде разлет осколков детонатора и ВВ по сравнению со взрывом в воздухе минимален, и поражение ими обслуживающего персонала и заготовки исключается.

Давление на фронте ударной волны в десятки раз больше, чем при взрыве в воздухе, и оно меньше зависит от расстояния, а длительность воздействия волны меньше только в 2÷2,5 раза. Акустическое сопротивление воды в 3500 раз выше акустического сопротивления воздуха. Поэтому при взрыве в воде ударная волна практически не преломляется в воздушную ударную волну, а это значит, что взрывы в воде при отсутствии непосредственного контакта работающего с установкой не опасны.

При соблюдении некоторых правил подводные взрывы создают не больше шума, чем обычное кузнечно-прессовое оборудование. На рис. 143, *а* и *б* приведены схемы непосредственного воздействия ВВ на формоизменяемую заготовку, а на рис. 143, *в*

и *г* — схемы воздействия ВВ через промежуточную среду — воду.

Следует учесть, что от выбираемой схемы существенно зависит коэффициент полезного использования энергии взрыва, который, однако, при низкой стоимости ВВ не является определяющим.

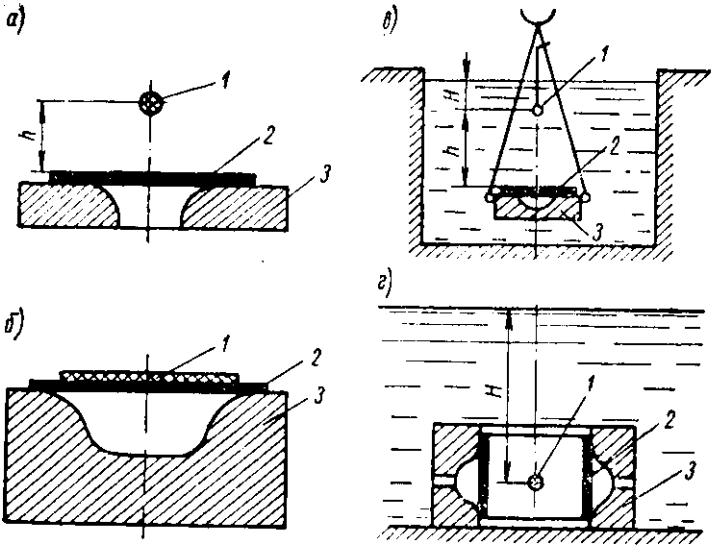


Рис. 143. Принципиальные схемы способов формообразования листовых деталей с использованием энергии бризантных ВВ:
1 — заряд; *2* — заготовка; *3* — матрица

При передаче энергии через воздух коэффициент полезного использования энергии равен 4%. При передаче энергии через воду он повышается до 33%. Коэффициент полезного использования энергии взрыва в существенной мере зависит от удельного веса жидкости, через которую передается энергия взрыва. С повышением удельного веса жидкости коэффициент полезного использования энергии взрыва возрастает.

3. Классификация штамповки по типу применяемых конструкций установок

Характер оборудования и оснастки при штамповке взрывом в основном зависит от габаритов изготовляемых деталей. Крупные детали, требующие для формообразования значительных по мощности зарядов бризантных ВВ, а также другие детали, штампуемые открытым и полузакрытым методами, штампуют

на полигонах. Штамповку мелких и средних деталей с применением порохов можно производить в специальных помещениях, расположенных в цехе. При этом, однако, для хранения запалов и пороха, вынесенных за пределы корпуса цеха требуются специальные отдельные помещения.

Полигоны оборудуют рядом различных бассейнов для штамповки деталей. В зависимости от габаритов штампуемых деталей и способов штамповки используют тот или иной бассейн. Кроме того, на полигонах имеются площадки для открытой штамповки на воздухе, помещения легкого типа для штамповки легких деталей с применением пороха, ряд подсобных помещений и складов.

Помещения, порядок хранения и использование ВВ должны удовлетворять правилам и инструкциям по обращению с ними.

На протекание процесса штамповки существенно влияет конструкция установки, определяющая характер распределения энергии взрыва. Различают установки открытые, полуоткрытые и закрытые.

При открытых установках энергия взрыва распространяется во все стороны. Установки этого типа применяют только при использовании бризантных ВВ при непосредственном их воздействии и воздействии через среду — воду или воздух. Эти схемы очень просты по устройству. При открытых установках порох, как правило, не применяют, так как он в открытом объеме сгорает, существенно не повышая давления в окружающем пространстве.

На рис. 144 приведена конструкция открытой установки для штамповки деталей взрывом. Установка состоит из специального бетонного колодца, облицованного внутри листовой сталью, которая предотвращает попадание в воду частичек бетона, откалываемых колебаниями при взрыве. При отсутствии облицовки частички бетона загрязняют воду и при штамповке портят внешнюю поверхность детали, оставляя на ней царапины, риски, мелкие вмятины и т. п.

Размеры колодца определяют размерами штампуемой детали. Диаметр колодца составляет обычно 1,5 максимального размера штампа, а глубину назначают в зависимости от высоты штампа, расстояния между зарядом и заготовкой, а также необходимой высоты столба жидкости над зарядом, которая должна быть не меньше $1,5 \div 2,0$ расстояния от заряда до заготовки. В противном случае отраженная от поверхности волна нейтрализует действующую на заготовку волну сжатия.

При штамповке деталей типа днищ оптимальное расстояние от заряда до заготовки составляет $0,5 \div 0,6$ диаметра детали.

От высоты столба жидкости над зарядом зависит и выброс воды из колодца. Чем выше столб жидкости над зарядом, тем меньше выброс воды. Выброс воды можно уменьшить, опуская

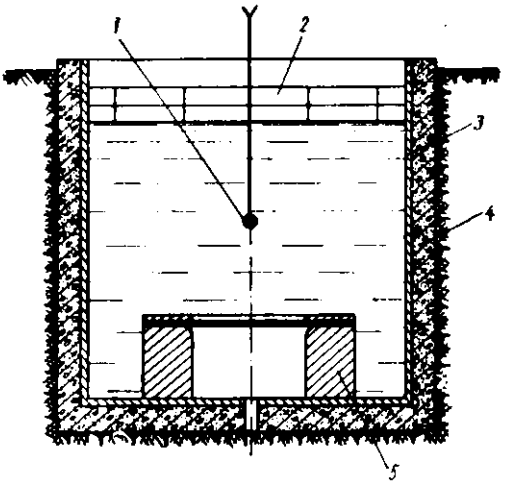


Рис. 144. Резервуар для штамповки крупногабаритных деталей:

1 — ВВ; *2* — металлическая сетка; *3* — облицовка; *4* — бетонная камера; *5* — матрица

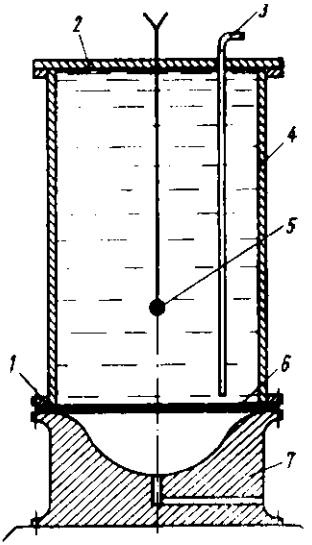


Рис. 145. Установка для штамповки средних и небольших деталей:

1 — фланец; *2* — крышка; *3* — труба для слива и заполнения; *4* — стальная труба; *5* — ВВ; *6* — заготовка; *7* — матрица

в воду набор металлических сеток, которые, не оказывая существенного сопротивления выходу из воды газообразных продуктов взрыва, препятствуют им увлекать за собой большие массы воды. При работе на таких установках матрица с уложенной заготовкой и прижимным кольцом опускается в колодец с водой, а затем на определенном расстоянии подвешивается заряд ВВ и опускаются сетки. При взрыве ударная волна деформирует заготовку, придавая ей форму матрицы.

Полузакрытые установки применяют при использовании бризантных ВВ с воздействием на заготовку через жидкость и воздух, а также в схемах, использующих электрогидравлический эффект.

Обычно такие установки используют при штамповке деталей средних и малых размеров.

На рис. 145 приведена конструкция полузакрытой установки, представляющая собой цельнотянутую или сварную стальную трубу с двумя приваренными на торцах фланцами.

На матрицу устанавливают листовую заготовку, а затем к фланцу матрицы крепят стальную трубу. Внутреннюю полость трубы заполняют водой и закрывают крышкой. Внутрь трубы

опускают заряд ВВ и производят взрыв. По окончании штамповки воду сливают и извлекают штампуемую деталь.

Иногда в установках такого типа, предназначенных для штамповки мелких деталей, к нижнему торцу трубы крепят резиновую диафрагму. В этом случае воду заливают один раз, а при установке новой заготовки и снятии готовой детали трубу поднимают вместе с водой.

При закрытых установках применяют порох. Сгорание пороха в замкнутом объеме резко повышает давление.

Закрытие схемы установок можно применять при всех видах источников взрывной энергии скоростного деформирования (порох, гремучий газ, сжатый газ). В некоторых случаях можно применять бризантные ВВ, однако для этого требуются точные расчеты необходимой величины заряда и высокопрочных устройств, которые бы противостояли воздействию бризантных ВВ.

На рис. 146 приведены конструкции закрытых установок, в которых для формовки листовых деталей применяют порох, а

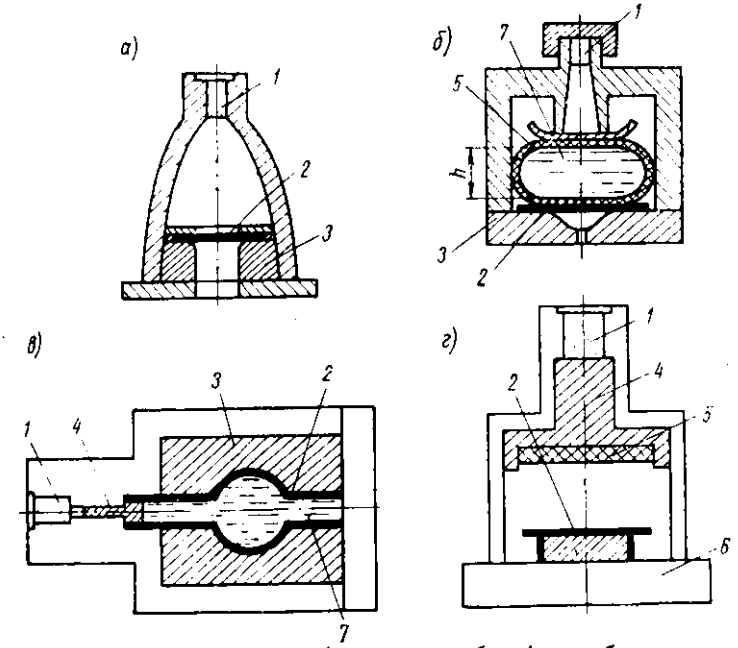


Рис. 146. Принципиальные схемы способов формообразования листовых деталей с использованием энергии порохов:

а — непосредственное воздействие на заготовку газового потока от взрыва; *б* — воздействие газа через жидкую среду; *в* — передача давления газа с помощью поршня на жидкость, а через нее — на заготовку; *г* — схема оборудования, в котором пороховой заряд используется как привод; *1* — заряд; *2* — заготовка; *3* — матрица; *4* — поршень; *5* — резина; *6* — стол; *7* — жидкость

на рис. 147 — конструкция установки с использованием газообразных ВВ.

Установка работает по следующей схеме: между прижимом и сменной матрицей зажимают заготовку, во взрывную камеру

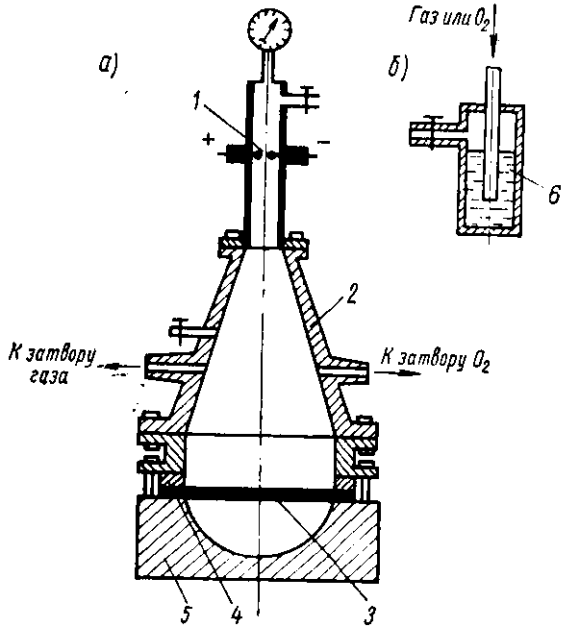


Рис. 147. Установка *(а)* для штамповки взрывчатой газовой смесью и схема *(б)* работы затвора:

1 — разрядник; *2* — корпус; *3* — заготовка; *4* — прижимное кольцо; *5* — матрица; *6* — водяные предохранительные клапаны

вводят через водяной предохранительный затвор под давлением газовую смесь. В верхней части камеры расположен разрядник. При включении клемм разрядника на источник тока между полюсами разрядника проскакивает искра, и происходит взрыв газовой смеси, формоизменяющий заготовку. На таких установках штампуют днища, мембраны и другие подобные детали.

Газовую смесь составляют из горючего газа, метана, бутана, пропана, ацетилена и окислителя — кислорода. Особую разновидность газовой смеси представляет собой гремучий газ.

Использование гремучего газа имеет некоторую специфику. Гремучий газ при химической реакции $O + H_2 \rightarrow H_2O$ обладает свойством импульсного повышения давления в 10 раз по равнению с исходным давлением.

Схема ввода в установку гремучего газа сводится к следующему. Взрывную камеру наполняют слабым раствором каустической соды. В нее вводят ряд электродов (покрытых никелем) с рабочим зазором между ними 1,5÷2,0 *мм*. Число электродов определяется количеством гремучего газа, выделяющегося в единицу времени.

Использование гремучего газа весьма эффективно при методе гидрорезиноштамповки. В этом случае над резиновой подушкой помещается резиновый мешок с раствором, и гремучий газ при диссоциации собирается в этом мешке под резиновой подушкой. Взрыв воздействует на резиновую подушку, которая обжимает заготовку по пуансону.

Применение взрывчатых газовых смесей повышает безопасность производства; поскольку компоненты газовых смесей в отдельности взрывобезопасны, смешивают их непосредственно в установке для штамповки деталей взрывом.

При штамповке взрывом не требуется сложной и дорогостоящей оснастки. Штамп состоит только из матрицы, а роль пуансона выполняет жидкость. Так как при взрывной штамповке действующие нагрузки весьма кратковременны, то применяемые штампы можно изготовлять из малопрочных и легко обрабатываемых материалов. Обычно для этой цели пригодны мягкая сталь, алюминиево-цинковые сплавы и пластмассы. В последнее время для этой цели стали широко применять эпоксидные композиции.

Рабочие поверхности матриц следует хорошо обрабатывать, так как при взрыве создаются настолько высокие давления, что на заготовке отпечатываются следы штампа. Кроме того, нельзя допускать попадания даже капель воды на рабочие поверхности матрицы, так как они также отпечатываются на заготовке.

Вакуумирования матрицы для толщины заготовки детали больше $0{,}01\,\frac{S}{D}$ можно не производить (где S — толщина заготовки, а D — ее диаметр).

Для выталкивания воздуха, находящегося между заготовкой и матрицей, достаточно в последней сделать отверстия для его выхода.

При штамповке более тонких заготовок для получения качественных деталей между заготовкой и матрицей необходимо создать вакуум.

Штамповка взрывом еще во многом не исследована, также нет вполне установившихся конструкций установок и оснастки для этого процесса. Приведенные примеры знакомят с существующими приемами штамповки, но не исчерпывают всех возможных вариантов. В каждом конкретном случае следует тщательно проанализировать наиболее рациональную схему и ее конструктивное оформление.

§ 4. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Скоростная и высокоскоростная штамповка характеризуется высокой энергией формоизменяющих нагрузок. При применении пороха давление изменяется от атмосферного до максимального в течение нескольких миллисекунд, и при протекании процесса в совершенно закрытом пространстве давление может поддерживаться относительно длительное время.

При использовании бризантных взрывчатых веществ (ВВ) процесс выделения энергии происходит в течение микросекунд. За это время создается давление, достигающее сотен тысяч и более *кГ/см*^{2} у поверхности взрывчатого вещества.

Величина давления зависит от марки ВВ.

Продукты взрыва быстро расширяются, и ударная взрывная волна, достигая поверхности заготовки, деформирует ее.

Импульсное воздействие взрывной волны сопровождается резким ростом напряжений в материале заготовки и далее более медленным снижением этих напряжений. Для эффективности процесса высокоскоростного деформирования подводимой энергии должно быть больше, чем энергии, необходимой для обеспечения пластического формоизменения геометрии заготовки до заданных форм детали. Чем больше избыток подводимой энергии, тем быстрее протекает процесс скоростного деформирования и тем больше внутрикристаллитные пластические деформации. Но избыток энергии не должен превышать определенного предела, за которым может последовать разрушение металла: отколы, отрывы и т. д.

Взрывная волна, совершающая формоизменение заготовки детали,— это область сжатия среды с резкими скачками давления, плотности и температура на переднем фронте, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью. Она возникает при взрыве и может распространяться в любых средах: воздухе, воде, бетоне, металле и пр. Наиболее изучен случай ударной волны в воздухе.

Действие взрыва может передаваться ударной волной через окружающую среду на значительные расстояния, намного превышающие те, на которые могут расширяться продукты взрыва.

Основой для оценки деформирующего действия ударной волны является закон подобия при взрыве. Этот закон позволяет сравнивать избыточные давления и импульсы ударных волн, вызванных взрывами зарядов различного веса и даже совершенно различной природы.

Почти все приближенные формулы, применяемые для оценки деформирующего действия ударных волн, по существу являются частными приложениями закона подобия.

Наиболее прост закон подобия для избыточного давления.

Максимальную величину избыточного давления ударной волны взрыва можно определить, если известно расстояние от центра заряда и дана характеристика самого взрыва.

В некоторых случаях достаточной характеристикой является вес заряда или даже его линейные размеры. Для заряда сферической формы поле давлений будет центросимметричным. Для оценки избыточного давления достаточно знать расстояние до центра взрыва. Если же форма заряда отличается от сферической, то поле давлений будет неравномерным и задача значительно усложнится.

Существует несколько законов подобия при взрывах. Наиболее применимым является обобщенный геометрический закон подобия. Согласно этому закону, расстояние R, на котором наблюдается некоторое определенное значение ΔP, пропорционально $\sqrt[3]{G}$, где G — вес заряда

$$R_{\Delta P} = a\sqrt[3]{G}.$$

Если, например, заряд весом G_1 создает давление ΔP на расстоянии R_1, то другой заряд весом G_2 создает это же давление на расстоянии R_2; при этом:

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{G_1}{G_2}}. \qquad (97)$$

Если решается более общая задача зависимости ΔP от расстояния, то, согласно обобщенному геометрическому закону подобия:

$$\Delta P = f\left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R}\right).$$

Вид функции f определяют из опыта.

Еще нет достаточно хорошо разработанной методики подбора величины и формы заряда, позволяющих обеспечить необходимый скачок давления и удельный импульс, осуществляющих потребную деформацию материала.

Для подсчета величины перепада давления во фронте ударной волны предложен ряд формул, основанных на законе подобия. Одной из них является следующая:

$$\Delta P = 2{,}58\left(\frac{G^{1/3}}{R^{1{,}15}}\right)\cdot V^{1/2}, \qquad (98)$$

где ΔP — перепад давления во фронте ударной волны, *кГ/см²*;
G — вес ВВ, *кГ*;
R — расстояние от центра заряда, *м*;
V — скорость детонации, *м/сек*.

Это уравнение весьма удобно, поскольку дает возможность подсчитать давления от любого ВВ в том случае, если известна скорость его детонации.

Для определения импульса удара под водой при любом ВВ пригодно уравнение, в которое входят данные об ударе от тринитротолуола (ТНТ):

$$I_x = I_{\text{ТНТ}}\left(\frac{E_x}{E_{\text{ТНТ}}}\right)\left(\frac{V_x}{V_{\text{ТНТ}}}\right)^{1/2}, \qquad (99)$$

где I_x — удельный импульс от применяемого в данном случае ВВ;

$I_{\text{ТНТ}}$ — удельный импульс от ТНТ при запроектированных для данного случая веса заряда и его расстояния от формоизменяемой поверхности;

E_x — полная энергия применяемого взрывчатого вещества;

$E_{\text{ТНТ}}$ — полная энергия ТНТ;

V_x — скорость детонации применяемого ВВ;

$V_{\text{ТНТ}}$ — скорость детонации ТНТ.

Последнее уравнение справедливо только при условии, если

$$\frac{G^{1/3}}{R} > 0{,}3.$$

Существенную роль (как это следует из теоретических положений, подтверждаемых опытными данными) играет проводящая среда (воздух, вода и другие среды). С увеличением плотности среды существенно возрастает коэффициент полезного действия взрыва или, точнее, коэффициент использования энергии взрыва.

Вода не только повышает коэффициент использования энергии взрыва, но и поглощает шум, снижает опасность, так как мелкие частицы ВВ при взрыве под водой не разлетаются, газы от ВВ не распространяются и не оказывают токсического действия.

Для ориентировочных расчетов давления при взрыве в воде от сосредоточенного тротилового заряда можно использовать формулу:

$$\Delta P \simeq 530\left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R}\right)^{1{,}13}, \qquad (100)$$

где G — вес заряда, *кГ*;

R — дистанция взрыва, *м*.

Расчет веса заряда бризантного ВВ при штамповке взрывом значительно осложняется взаимодействием ударной волны с формоизменяемой заготовкой, обладающей некоторой подвижностью.

Давление на заготовку можно определить через давление в волне, преломленной металлом заготовки. Как известно из теории звукового поля, давление в преломленной волне равно давлению в падающей волне, умноженному на коэффициент преломления:

$$P = K_{пр}\Delta P. \tag{101}$$

Коэффициент преломления зависит от скорости звука в воде и металле, а также от их плотности:

$$K_{пр} = \frac{2\rho_м C_м}{\rho_м C_м + \rho_0 C_0}, \tag{102}$$

где ρ_0 — плотность воды, *кг · сек²/см²*;
$\rho_м$ — плотность металла, *кг · сек²/см⁴*;
C_0 — скорость звука в воде, *м/сек*;
$C_м$ — скорость звука в металле, *м/сек*.

Значения скорости звука и коэффициента преломления для различных металлов приведены в табл. 24.

Таблица 24

Значения скорости звука и коэффициента преломления в различных металлах

Материал	$C_м$	$K_{пр}$
Дуралюмин	5120	1,804
Сталь	5090	1,925
Титан	4620	1,865

Давления, действующие на заготовки, определяют следующим уравнением:

$$P = K_{пр} \cdot 530 \left(\frac{G^{1/3}}{R}\right)^{1,13}, \tag{103}$$

где $K_{пр}$ — коэффициент преломления для соответствующего металла.

Для окончательного расчета веса заряда необходимо знать сопротивление заготовки пластической деформации, которое может быть рассчитано методами, принятыми в теории пластичности.

При штамповке деталей сферической формы вес заряда бризантного ВВ можно определить по формуле:

$$G = K_{пр} R^{1,41} \left(\frac{\sigma_в S^2}{1 + \frac{d^2}{f^2}}\right)^{0,795}, \tag{104}$$

где G — вес заряда ВВ, *кГ*;
$K_{пр}$ — коэффициент преломления, зависящий от деформируемого металла;
R — расстояние до заготовки (дистанция взрыва), *м*;
S — толщина металла заготовки, *см*;
f — величина прогиба, *см*;
d — диаметр детали, *см*.

§ 5. ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

При штамповке взрывом скорости деформирования заготовок в десятки и сотни раз превышают скорости деформирования при обычной штамповке. Поэтому, естественно, возникает вопрос об изменении металлов как в процессе скоростной деформации, так и в эксплуатации штампованных деталей. Исследования высокоскоростного деформирования металлов показали, что с увеличением скорости деформирования повышаются механические характеристики материалов: предел прочности, предел текучести и уровень напряжений вдоль всей кривой текучести. При этом заметное повышение пределов прочности металла уже регистрируется при скоростях 60 ÷ 70 *м/сек*.

Для некоторых сталей при скорости деформации 825 *м/сек* динамический предел текучести на сжатие на 30% выше статического.

По данным зарубежной периодической печати, при высокоскоростном деформировании относительное удлинение возрастает. Ниже приведено значение коэффициента K, представляющего собой отношение относительных удлинений при импульсной нагрузке к нагрузке, прилагаемой постепенно: для титана — 1,5; углеродистой стали — 2,3; алюминия — 2,5; инструментальной стали — 2,0; магниевых сплавов — 2,0.

Отечественный и зарубежный опыт штамповки листовых металлов подтверждает мнение, что при штамповке взрывом способность металлов, обычно применяемых в штамповочном производстве, к пластической деформации не ухудшается, а для некоторых металлов даже увеличивается. Так, у некоторых нержавеющих сталей при взрывной штамповке допустимые деформации оказались на 25% выше, чем при статической штамповке.

Фирма «Райан» сообщает, что ей удалось из листового титана отштамповать взрывом детали, для получения которых необходима была 75-процентная степень деформации металла.

Такие деформации вполне объяснимы, если учесть, что при давлениях в несколько тысяч атмосфер значительно улучшаются пластические свойства металлов. При штамповке взрывом можно создать в направлении толщины материала очень высо-

кие давления и тем самым обеспечить более благоприятную для пластического деформирования схему напряженного состояния.

В настоящее время проведены металлографические исследования металлов, подвергнутых взрывной штамповке. При этом каких-либо изменений, отличающихся от обычных изменений структуры, вызываемых наличием пластической деформации, не наблюдалось.

§ 6. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Если поместить в ванну с жидкостью, обладающей ионной проводимостью, два электрода (разрядник) и включить их в источник электроэнергии, то через жидкость между электродами будет проходить электрический ток (рис. 148, *а*). При включении разрядника на колебательный контур (рис. 148, *б*) при определенных значениях напряжения на обкладках конденсатора между электродами возникает разряд, при котором вокруг его зоны образуется парогазовый пузырь с повышенным давлением. Механическое воздействие жидкости на объекты, расположенные вблизи разряда, незначительно. Это объясняется тем, что канал электрического разряда с присущими ему очень высокими давлениями не соприкасается с жидкостью непосредственно, и газы, расположенные вокруг канала электрического разряда, амортизируют удар импульса. Если сократить время разряда и одновременно повысить мощность единич-

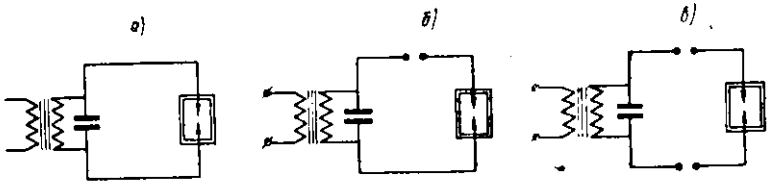


Рис. 148. Схема включения разрядника с формирующими искровыми промежутками:

а — без промежутка; *б* — с одним промежутком; *в* — с двумя промежутками

ного электрического импульса, то это снизит газообразование, высокий импульс разряда будет воздействовать непосредственно на воду. Поскольку вода малосжимаема, возникнет гидравлический эффект.

Электрические заряды можно накапливать, вводя в схему дополнительный искровый промежуток (см. схему на рис. 148, *б*), называемый «формирующим искровым промежутком».

Введением в схему двух формирующих искровых промежутков (рис. 148, *в*) достигают большой маневренности схемы, возможности большего сокращения времени разряда и повышения

мощности единичного импульса с исключением парогазообразования.

Формирующие искровые промежутки позволяют: 1) накопить дозированные количества энергии с импульсной подачей ее на рабочий разрядник; 2) значительно сократить длительность импульса и предотвратить возникновение колебательных процессов, что обеспечит один мощный кратковременный импульс; 3) сократить время нарастания импульса и исключить возможность дугового разряда; 4) получить при данном промежутке на рабочем разряднике различные по величине им-

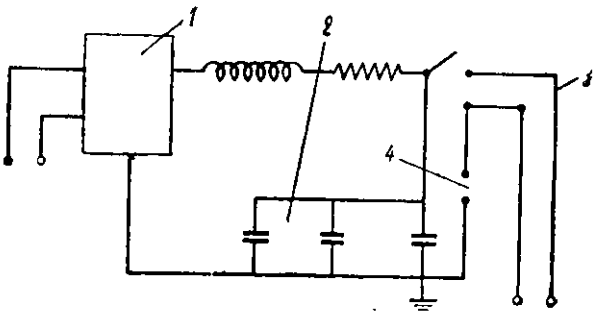


Рис. 149. Принципиальная схема промышленной установки:

1 — источник высокого напряжения; *2* — конденсаторная батарея; *3* — электроразрядник; *4* — формирующий искровой промежуток

пульсы тока при различных напряжениях; 5) изменить характер разряда на основном рабочем разряднике симметричным или асимметричным регулированием формирующих промежутков, установить последовательность пробоя промежутков.

Гидравлические импульсы, возникающие в результате разряда в жидкости, состоят из двух ударов: основного — гидравлического и дополнительного — кавитационного. Чем меньше общее время импульса тока, меньше время нарастания импульса и больше амплитуда тока, тем сильнее гидравлический удар. Нижний предел устойчивого режима работы схемы определяется длиной формирующих промежутков, обеспечивающих формирование импульсов, а также напряжением, достаточным для пробоя основного промежутка. Верхний предел режима ограничен напряжением источника питания установки, которое должно быть достаточным для пробоя всех трех промежутков.

При электрогидравлическом эффекте электрическая энергия преобразуется в механическую без промежуточных звеньев. Мгновенная мощность импульса весьма велика; так, установка

мощностью 1 *квт* при напряжении 50—70 *кв* дает мощность единичного импульса более 100 000 *квт*.

На рис. 149 приведена принципиальная схема установки для штамповки деталей. Электроразрядник вставляют в матрицу, наполненную водой и оборудованную соответствующей токопроводящей системой. В матрице возможна установка нескольких рабочих разрядников, что обеспечивает равномерность воздействия импульсов на формоизменяемую заготовку.

Метод штамповки с применением электрогидравлического эффекта имеет следующие преимущества: 1) устраняет случайности, возможные при использовании ВВ; 2) исключает применение крупных гидравлических прессов; 3) процесс переналадки установки на штамповку новых номенклатур деталей не требует длительного времени; 4) оснастка (матрица) проста в изготовлении и не дорога.

Глава IX

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕГКООБРАБАТЫВАЕМЫХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШТАМПОВОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Легко обрабатываемые и неметаллические материалы, применяемые для штамповочной оснастки,— одна из важнейших особенностей специальных видов штамповки, обеспечивающих малую трудоемкость изготовления и дешевизну оснастки.

§ 1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОСНАСТКИ

Матрицы для штамповки в большинстве случаев изготовляют из различных металлических сплавов путем отливки по моделям. В целях облегчения отливок применяют легкоплавкие сплавы. К ним относятся: цинковые, свинцово-цинковые и алюминиево-цинковые (например, АЦ-13).

В том случае, если штамп предназначен для штамповки деталей из нержавеющих сталей (типа 18-8), титановых сплавов и других материалов, склонных при относительно небольших степенях формоизменения к упрочнению, матрицы изготовляют из чугуна, однако это не исключает применения цинка или сплава АЦ-13.

Применение свинца как чистого (марок С-1, С-2, С-3 и С-4), так и в составе сплавов, нежелательно. Это объясняется тем, что свинец остродефицитен и пары, образующиеся при его расплавлении, очень вредны. В связи с этим в последнее время свинец в штампах применяют редко. Изготовление пуансонов наиболее рационально из специальных пластмасс: ТЛК-Э, ДКМ и эпоксипласта. При подборе материалов для матрицы и пуансонов необходимо учитывать, что в подавляющем большинстве случаев пуансон отливается по матрице и, следовательно, температура плавления материала пуансона должна быть ниже температуры плавления материала матрицы.

Для изготовления моделей к матрицам применяют технический гипс, являющийся недефицитным и дешевым материалом. Технический гипс ($2CaSO_4H_2O$) замешивают на воде; гипс теряет текучесть через 10—15 *мин* и затвердевает через 20—25 *мин*. Эти свойства гипса, а также легкость его обработки

и малая усадка служат основанием для выбора его в качестве материала для изготовления гипсомоделей.

Рассмотрим свойства материалов, применяемых для изготовления пуансонов.

1. Масса ТЛК-Э

ТЛК-Э — термопластичная литейная композиция на основе этилцеллюлозы, расплавляющаяся до вязкотекучего состояния при температуре 190—200° С. По свойствам она превосходит свинцово-цинковые сплавы. Пуансоны из ТЛК-Э хорошо разглаживают гофры и в некоторой степени препятствуют гофрообразованию деталей. ТЛК-Э можно использовать многократно путем переплавки пуансонов, но при повторных переплавках механическая прочность ее несколько снижается. Новые пуансоны рекомендуется отливать с использованием старых и путем добавки 50% свежей массы.

ТЛК-Э приготовляют из следующих материалов: этилцеллюлозы белого или слегка желтоватого порошка (марки Н-100 или НИ-100) (50%); дибутилфталата технического — жидкости, напоминающей вазелиновое масло с характерным эфирным запахом,—применяемого в качестве пластификатора (17%); сурика железного сухого — темно-коричневого порошка, применяемого в качестве наполнителя (38%), дифениламина технического — белого кристаллического порошка, применяемого в качестве стабилизатора (1%).

ТЛК-Э изготовляют на специальных установках, обеспечивающих тщательное перемешивание компонентов при строго установленной температуре обогрева 230—250° С. Контроль и поддержание температуры осуществляют автоматически.

Основные физико-механические свойства ТЛК-Э: удельный вес — 1,25 ÷ 1,3 *г/см*^{3}; ударная вязкость — 1 *кГм/мм*^{2}; предел прочности при растяжении — 1,3 *кГ/мм*^{2}; предел прочности при сжатии — 1,5 *кГ/мм*^{2}; твердость по Бринеллю — 7 — 8 *кГ/мм*^{2}; линейная усадка при литье — 0,2%; водопоглощение за 24 часа — 0,55%.

2. Масса ДКМ

ДКМ — древесноклеевая масса на основе древесных опилок (мелких, сухих и однородных), применяемых как наполнитель, и клея ВИАМ-Б3 как связующего вещества. Соотношение опилок и клея по объему 1 : 1, а в весовом отношении соответственно 1 : 3. Клей ВИАМ-Б3 приготовляют из фенольно-формальдегидной смолы и керосинового контакта [1], добавляемого в смолу в качестве катализатора, ускоряющего полимеризацию.

[1] Керосиновый контакт — смесь нефтяных сульфокислот.

Эти компоненты активно перемешивают. Клей ВИАМ-Б3 изготовляют непосредственно перед использованием, чтобы он не загустел. Процесс приготовления ДКМ должен быть закончен в течение 15—20 *мин*. Время приготовления влияет на прочностные свойства массы. Соотношение компонентов клея зависит от кислотного числа керосинового контакта. Каждая партия керосинового контакта имеет свое кислотное число. На 100 весовых частей смолы берут 1600 весовых частей керосинового контакта. Соотношение керосинового контакта и смолы зависит от температуры. Приведенное соотношение соответствует температуре 20—25° С. При температуре 16—20° С количество керосинового контакта должно быть повышено и соответствовать 1800.

Клей ВИАМ-Б3 имеет относительно небольшую упругость и является хрупким, однако при добавлении древесных опилок масса ДКМ приобретает свойства упругости и после снятия нагрузки почти мгновенно восстанавливает исходные размеры.

Пуансоны делают комбинированными, т. е. металлическими с рабочей поверхностью, облицованной ДКМ. Удар таких пуансонов отличается мягкостью и обеспечивает хорошее прилегание пуансона к заготовке. Облицовка из ДКМ способствует разглаживанию складок, причем лучше, чем из других пластмасс. ДКМ имеет следующие физико-механические характеристики: удельный вес — 1,14; предел прочности при сжатии — 5 *кГ/мм*^{2}; твердость по Бриннелю — 8 *кГ/мм*^{2}; усадка за 20 дней хранения — 0,3%.

Сравнение характеристики ТЛК-Э и ДКМ показывает превосходство последней. ДКМ имеет следующие основные достоинства: 1) стоимость в несколько раз ниже других пластиков; 2) для приготовления не требуется сложного оборудования; 3) пригодна для штамповки стальных деталей и калибровочных операций.

К недостаткам ДКМ относятся: 1) необратимость и, следовательно, невозможность повторного использования массы в оснастке; 2) склонность к короблению при повышенной влажности; 3) необходимость изготовления пуансонов за короткий промежуток времени; 4) необходимость запрессовки в процессе затвердевания; 5) вредность фенольно-формальдегидных смол для обслуживающего персонала в процессе изготовления оснастки.

3. Пескоклеевая масса

Пескоклеевая масса (ПСК) — композиция из сухого кварцевого песка (85%) и клея ВИАМ-Б3 (15%).

Пескоклеевую массу используют преимущественно для изготовления обтяжных пуансонов при штамповке деталей на прессах типа РО и ОП (см. главу VI).

Масса ПСК необратима. Ее приготовляют путем тщательного перемешивания компонентов в смесителе (рис. 150). Готовую массу следует использовать в течение 40—50 *мин*, во избежание затвердевания.

Физико-механические свойства ПСК: предел прочности при

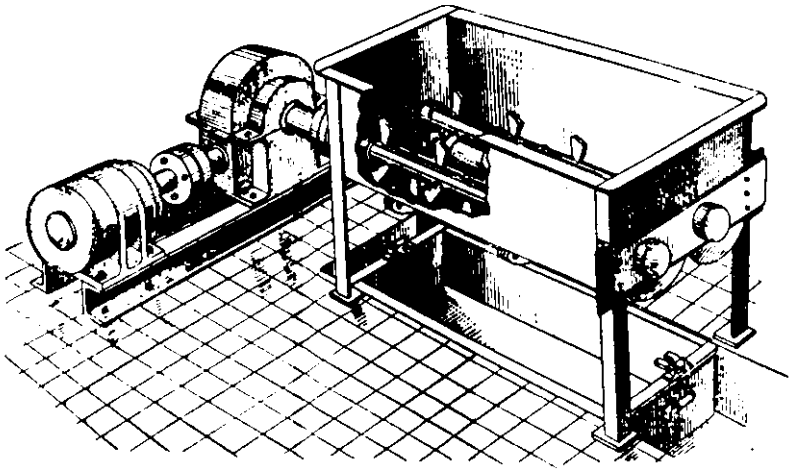


Рис. 150. Смеситель для перемешивания компонентов пескоклеевой массы

сжатии — 4 *кГ/мм*^{2}; твердость по Бриннелю — 2 *кГ/мм*^{2}; предел прочности при изгибе — 5 *кГ/мм*^{2}; усадка за 20 дней хранения — 0,1—0,2%.

Для ударных нагрузок пескоклеевая масса не пригодна.

4. Эпоксипласт

Эпоксипласт — необратимый литейный пластик сложной композиции, состоящий из эпоксидной смолы (марок Д-6, ЭД-5 или Э-40) (30%); дибутилфталата (6,5%), полиэтилен полиамина или гексаметилен диамина (2,5%) и железного сурика или гипса (61%).

Эпоксидная смола является продуктом поликонденсации дифенилолпропана с эпихлоргидрином в присутствии едкого натра и представляет собой прозрачную вязкую жидкость от желтого до коричневого цвета.

Эпоксидная смола выполняет роль связующего вещества, определяющего основные физико-механические качества пластика. Дибутилфталат — жидкость, напоминающая вазелиновое масло, вводится в состав в качестве пластификатора для снижения хрупкости и повышения эластичности пластика.

Количество дибутилфталата может колебаться в пределах от 5 до 30% по отношению к смоле. Эпоксипласт может применяться для облицовки как пуансонов, так и матриц. При этом для матриц композиция должна быть более твердая, т. е. с меньшим содержанием дибутилфталата, а для пуансонов — наоборот.

Полиэтиленполиамин — маслянистая светло-желтая жидкость с запахом аммиака. Полиэтиленполиамин получают из водного аммиака, он вводится в состав композиции в качестве отвердителя.

Железный сурик (или гипс) применяется в качестве наполнителя. С этой же целью можно применять мелкий кварцевый песок, графит, маршалит, древесные опилки. Но эксплуатационные качества пластика с такими наполнителями несколько ниже. В композицию можно добавить 25% алюминиевого порошка (пудра, опилки), что повысит механические свойства пластика.

В зависимости от состава композиции эпоксипласт имеет следующие физико-механические свойства: удельный вес — 1,2 ÷ 3,0 *г/см*^{3}; ударную вязкость — 4 ÷ 8 *кГсм/см*^{2}; предел прочности при изгибе — 5÷9 *кГ/мм*^{2}; предел прочности при сжатии — 7 ÷ 14 *кГ/мм*^{2}, твердость по Бриннелю — 11 ÷ 23 *кГ/мм*^{2}.

Приготовляют эпоксипласт в вакуумсмесителе, позволяющем регулировать температуру смеси (нагревать и охлаждать), для чего через рубашку смесителя поочередно пропускают перегретый пар или холодную воду.

В смеситель вначале заливают смолу при температуре 30° С, затем вводят пластификатор, после чего медленно всыпают необходимое количество железного сурика или гипса. Последним в смеситель вводят отвердитель, затем все тщательно перемешивают.

Следует иметь в виду, что механическая прочность состава понижается из-за присутствия пузырьков воздуха, поэтому вакуумирование и медленное перемешивание способствуют улучшению механических свойств эпоксипласта. Приготовленный таким образом пластик должен быть использован в течение 15—20 *мин*, так как после этого времени он загустеет и не сможет быть использован в качестве литейной композиции.

Процесс полимеризации эпоксидных смол сопровождается выделением значительного количества тепла, что может привести к перегреву массы, при котором она снижает свои механические свойства.

Цельнопластмассовые штампы изготовлять не рекомендуется, поскольку количество пластмассы будет больше и теплоотвод ограничен. Поэтому эпоксидные смолы применяют в штампах как облицовочный материал, наносимый на каркас матрицы или пуансона. Каркас изготовляют из вторичного

алюминия или стали. Толщину облицовочного слоя принимают равной 10 ÷ 20 *мм;* большая толщина облицовки не рекомендуется по условиям теплоотвода.

Эпоксипласт пока не получил достаточного применения из-за высокой стоимости эпоксидных смол, что является следствием их ограниченного выпуска.

Основные достоинства эпоксипласта: 1) высокие физико-механические свойства, обеспечивающие высокую стойкость штампа; 2) простота приготовления; 3) возможность накладывания облицовки непосредственно на каркас без специальных удерживающих устройств; 4) эпоксипласт прочно сцепляется с металлом; 5) ремонт штампов из эпоксипласта не представляет затруднений, поскольку новый слой массы хорошо соединяется с облицовкой, бывшей в работе; 6) эпоксипласт почти не дает усадки; 7) хорошие эксплуатационные свойства— разглаживание складок, плотное прилегание к штампуемому материалу; 8) возможность штамповки черных и цветных металлов; 9) отсутствие необходимости запрессовки массы при облицовке каркасов.

Основные недостатки эпоксипласта: 1) необратимость композиции; 2) высокая стоимость; 3) необходимость изготовления пуансонов за короткий промежуток времени вследствие быстрого затвердевания пластика.

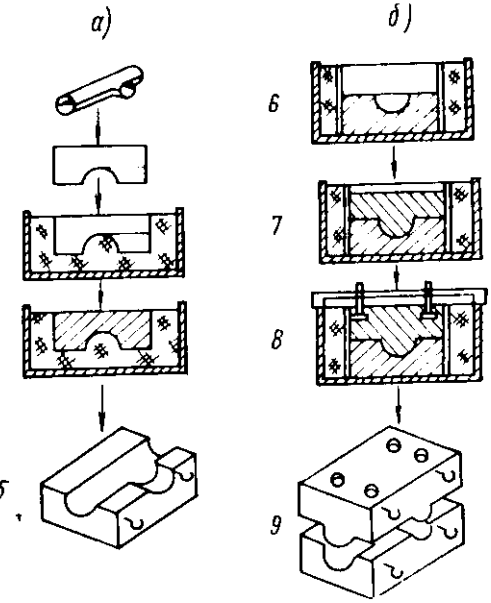


Рис. 151. Технологическая схема изготовления штампов:

а — изготовление матрицы; *б* — изготовление пуансона; *1* — деревянная модель детали; *2* — гипсовая модель матрицы; *3* — заформованная опока; *4* — опока после заливки; *5* — готовая матрица; *6* — опока с матрицей; *7* — опока с залитым пуансоном; *8* — готовый пуансон; *9* — штамп

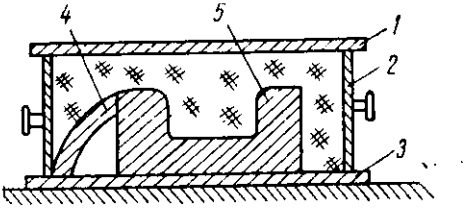


Рис. 152. Схема отливки матрицы:

1 — крышка; *2* — опока; *3* — крышка; *4* — литник; *5* — матрица

§ 2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНАСТКИ

Штампы чаще всего изготовляют методом отливки. Процесс состоит из четырех операций (рис. 151): 1) изготовление модели матрицы; 2) отливка матрицы; 3) зачистка и доводка матрицы; 4) отливка пуансона по матрице.

При изготовлении формы для отливки матрицы можно использовать деревянную модель или эталонную деталь, с которых снимают гипсослепок. По гипсослепку формуют в опоке модель. При формовке закладывают рымболты, используемые при транспортировке матрицы подъемно-транспортными механизмами. Матрицы отливают из металлических сплавов в открытые земляные формы. Литник при этом устанавливают так, чтобы заливка происходила с нижней точки матрицы (рис. 152). После отливки и застывания металла отлитую матрицу извлекают из опоки и производят строжку установочной плоскости. Если установочная плоскость, скоординированная при отливке с контуром детали, имела строго горизонтальное положение, то строжку выполнять необязательно. В теле матрицы обычно делают четыре кармана по бокам для закрепления ее при помощи планок на столе падающего молота или пресса. Формовка матрицы возможна и по слепку из пескоклеевой массы, снятому с эталонной детали или макета поверхности.

1. Отливка пуансонов из ТЛК-Э

Отливку пуансона из ТЛК-Э обычно производят по матрице[1]. Для отливки пуансонов применяют разборные типовые опоки, размеры которых в свету соответствуют размерам матрицы в плане. В таких опоках устанавливают бобышки (на 70—80 *мм* ниже верха пуансона) для образования гнезд, необходимых при закреплении пуансона (рис. 153). Кроме того, предусматривают установку бобышек для рымболтов.

Перед заливкой массы ТЛК-Э матрицу нагревают до 160—190° С. На ее поверхность наносят слой машинного масла и заливают ТЛК-Э. Перед заливкой необходимо установить матрицу строго горизонтально.

После затвердевания массы верхнюю плоскость пуансона обрабатывают фрезерованием или строганием. Если в пуансоне имеются вертикальные стенки или стенки с наклоном более 25°, то требуется уменьшение размеров пуансона на тол-

[1] Из свинцовых сплавов пуансоны отливают тоже по матрице, но этот способ имеет свою специфику. В книге он не рассматривается, поскольку применение свинцовых сплавов в пуансонах непрогрессивно.

щину штампуемого материала (рис. 154). В остальных ее местах толщину не учитывают, поскольку пуансон обладает некоторой упругостью.

Пуансоны, которые изнашиваются значительно быстрее матрицы, ремонтируют путем запрессовки в нагретую до 200° С

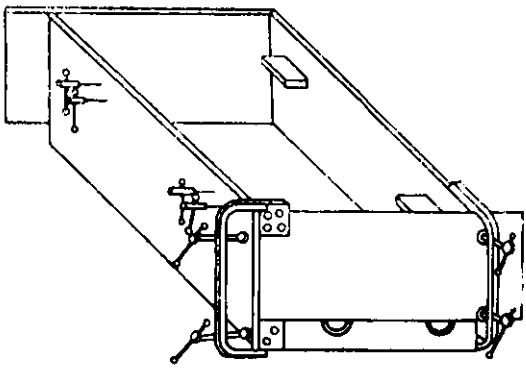


Рис. 153. Опока для отливки матриц из ТЛК-Э

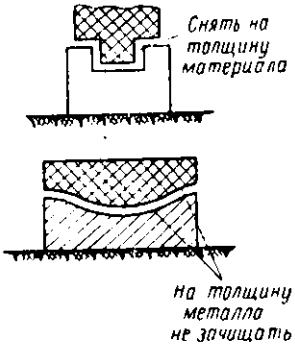


Рис. 154. Схема уменьшения размеров пуансона на толщину штампуемого материала

матрицу с усилием 5 ÷ 8 *кГ/см²*. Поверхность соприкосновения пуансона с матрицей размягчается, и пуансон восстанавливает свои первоначальные размеры. В местах, где учитывают толщину металла, вставляют вкладки.

2. Изготовление пуансонов с применением ДКМ

Массу ДКМ применяют для облицовки литого корпуса пуансона, имеющего приблизительные размеры. На матрицу накладывают слой ДКМ в 2—2,5 раза больше толщины готовой облицовки. Перед укладкой массы поверхность матрицы покрывают тонким слоем парафина или технического вазелина. По краям матрицы устанавливают прокладки, определяющие положение пуансона по отношению к матрице (рис. 155). Массу следует запрессовывать с усилием, обеспечивающим удельное давление не менее 2 *кГ/см²*. Это можно осуществить прессом или наложением груза. Если давление запрессовки повысить до 15 ÷ 20 *кГ/см²*, то это увеличит прочность и стойкость пуансона на 25—30%.

В нагруженном состоянии штамп выдерживают в течение 25—40 *мин*, затем давление снимают и штамп в закрытом

виде выдерживают 8 *час* до полного затвердевания массы. После затвердевания облой обрубают.

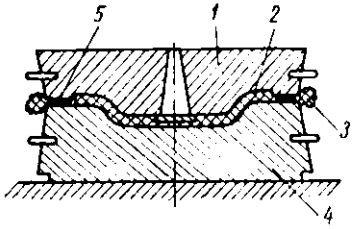


Рис. 155. Процесс запрессовки облицовки из ДКМ на пуансон:
1 — корпус пуансона; *2* — облицовка из древесноклеевой массы; *3* — избыток массы; *4* — матрица; *5* — прокладка.

Материал у пуансона снимают на толщину штампуемого металла детали только при толщинах более 0,8 *мм* и в местах, где стенки пуансона имеют угол наклона более 75°.

Ремонт пуансона в местах выработки или выкрашивания ведут в следующем порядке: вырубают материал в ремонтируемой зоне, наносят слой свежей массы ДКМ, и пуансон запрессовывают в матрицу.

При небольших дефектах применяют композиции из графита и клея ВИАМ-Б3 (40% графита, 60% клея по весу). Эту же композицию применяют для шпаклевки отремонтированных мест, имеющих неровности.

3. Изготовление пуансонов с применением эпоксипласта

Эпоксидные пластики применяют обычно для облицовки пуансонов. Облицовку производят методом литья (эпоксидный пластик не требует уплотнения запрессовкой). На рис. 156 приведена схема монтажа на матрице корпуса пуансона для отливки облицовки.

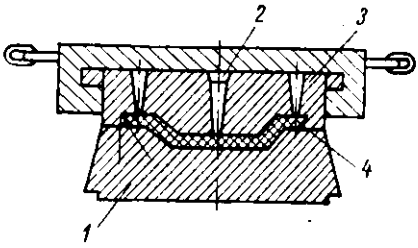


Рис. 156. Схема монтажа на матрице корпуса пуансона для отливки облицовки из эпоксипласта:
1 — матрица; *2* — литник; *3* — корпус пуансона; *4* — облицовка пуансона

Следует отметить, что по этой схеме возможна облицовка не только из эпоксидной композиции, но и из массы ТЛК-Э, но в последнем случае литниковые стояки и выпоры должны быть бóльшего диаметра, поскольку они одновременно будут являться системой закрепления пластмассы на пуансоне. Кроме того, при отливке ТЛК-Э необходим нагрев матрицы и корпуса пуансона до температуры 160—190° С.

Отливка эпоксипласта имеет некоторую специфику. Лицевая поверхность корпуса пуансона должна быть шероховатой, для этого его обдувают песком.

Облицовка пуансона образуется путем заливки эпоксидной смолы в зазор между корпусом пуансона и матрицы через литники. Выпоры должны быть предусмотрены во всех зонах, где возможно скопление воздуха.

Лицевая поверхность матрицы должна быть покрыта разделительным составом, в

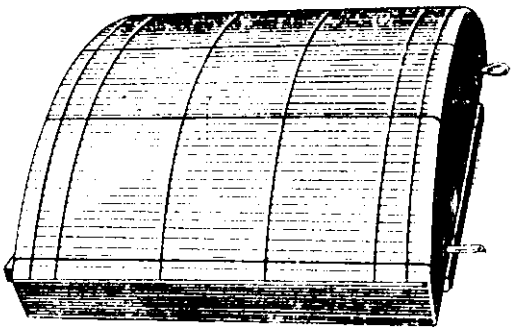


Рис. 157. Обтяжной пуансон из эпоксипласта

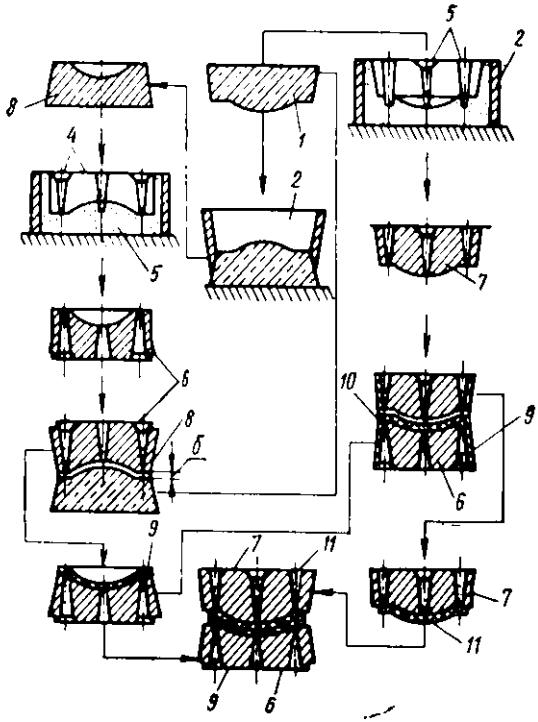


Рис. 158. Технологическая схема изготовления штампа с пуансоном и матрицей, облицованными с рабочей стороны пластиком на основе эпоксидной смолы:

1 — исходная модель; *2* — опока; *3* — модель матрицы; *4* — стержни; *5* — земляная форма; *6* — корпус матрицы; *7* — корпус пуансона; *8* — кольцевой буртик; *9* — пластмассовая оболочка; *10* — кольцевой буртик; *11* — пластмассовая оболочка

качестве последнего применяют 20-процентный раствор полисилоксановой резины (марки Л4Р-2 или ТТ-18) в толуоле или бензине. Для образования зазора между корпусом пуансона и матрицей, а также для придания боковым стенкам облицовки необходимого угла наклона α по периметру матрицы наращивают кольцевой буртик.

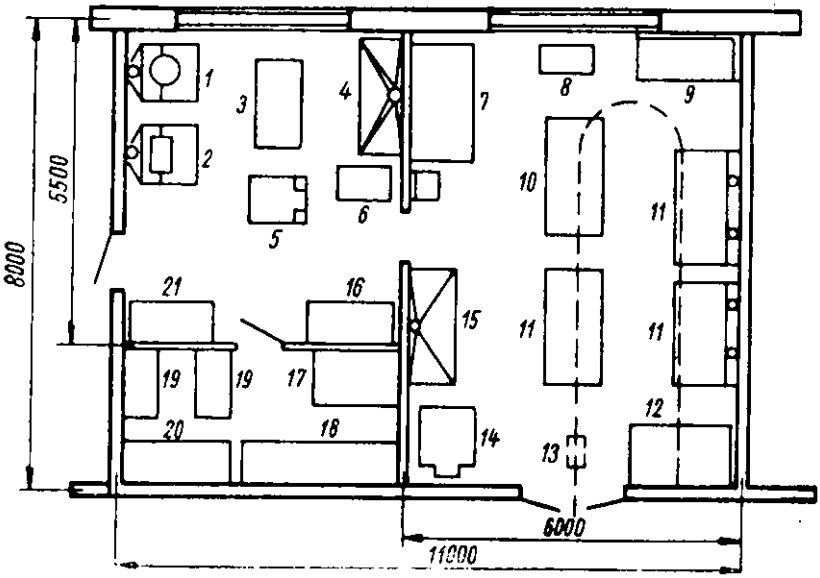


Рис. 159. Примерная планировка мастерской для изготовления оснастки из эпоксипласта:

1 — смеситель для облицовки; *2* — смеситель для наполнителя; *3* — рабочий стол; *4* — вытяжной шкаф; *5* — вибросито; *6* — весы; *7* — термокамера; *8* — стол мастера; *9* — шкаф для инструмента; *10* — инструментальная плита; *11* — рабочий стол; *12* — стол для выдержки; *13* — электротельфер; *14* — вибростол; *15* — вытяжной шкаф; *16* — термошкаф; *17* — стеллаж для бутылей; *18* — стеллаж; *19* — шкаф; *20* — ларь; *21* — шкаф для посуды

Пуансон после заливки выдерживают в закрытом состоянии в течение 12—20 *час* до полного окончания процесса затвердевания.

На рис. 157 показан пуансон из эпоксипласта.

При облицовке эпоксидной смолой как корпуса пуансона, так и матрицы руководствуются технологической схемой, приведенной на рис. 158.

На рис. 159 дана примерная планировка мастерской для изготовления оснастки из эпоксипласта.

Глава X

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для разработки технологических процессов необходим ряд исходных данных, которые можно разделить на три группы.

1. Основные исходные данные: 1) рабочие чертежи изделия; 2) директивная технология; 3) технические условия на приемку и поставку материалов, деталей, узлов, агрегатов; 4) производственная программа выпуска изделий; 5) имеющееся на предприятии оборудование.

2. Руководящие материалы: 1) типовые технологические процессы; 2) ГОСТы и различные ведомственные нормативные материалы; 3) нормативы времени на различные работы; 4) инструкции и другие материалы.

3. Вспомогательные материалы; справочники, каталоги, периодическая литература.

При разработке технологического процесса на изготовление детали выполняют следующее:

1) устанавливают на основе экономических расчетов метод эффективной штамповки и состав переходов в операциях, назначают операционные размеры, выбирают базы;

2) намечают заготовки и способы их раскроя;

3) выбирают последовательность обработки деталей;

4) рассчитывают режимы;

5) определяют методы технического контроля качества готовых деталей и контроля в процессе обработки;

6) устанавливают нормы времени на выполнение операций.

Кроме того, проектируют оснастку и приспособления, необходимые для изготовления деталей, а также выбирают необходимое оборудование.

Указанный порядок разработки технологического процесса является приближенным. Большое разнообразие и сложность процессов требует большой работы, в процессе которой решение одних задач позволяет улучшить решение других.

Разработанный технологический процесс фиксируют в документах установленной формы, называемых картами технологического процесса, операционными картами и т. д. Совокупность этих карт называют «разработкой технологического процесса».

В состав технологической документации входят карты технологического процесса, технические условия на проектирование и изготовление технологической оснастки, карты контроля и приемки изделий, чертежи технологической оснастки, маршрутная ведомость деталеи, подетальные нормы расхода основных материалов, подетальные нормы расхода вспомогательных материалов, чертежи нестандартного оборудования.

Формы технологических документов на разных предприятиях различны, но содержание их в основном соответствует изложенному.

Существенного упрощения в проектировании технологии достигают применением типовых технологических процессов, что резко сокращает время разработки технических процессов и улучшает их качество.

Сущность типизации технологических процессов заключается в том, что устанавливают наиболее целесообразные технологические процессы для ряда групп однотипных деталей, чем достигают однообразия способов обработки и технологической оснащенности процессов.

Типизация технологических процессов дает следующие преимущества: разрабатываются централизованно (на базе передового опыта) и внедряются оптимальные технологические процессы; создается возможность обобщить передовые методы работы и перенести их в широком масштабе в производство; сокращается цикл подготовки производства и освоения новых изделий; увеличивается серийность, что позволяет создавать групповые поточные линии с типовой технологией, повышается уровень технологичности изделий; уменьшается количество переналадок оборудования и оснастки при запуске в производство групп деталей, имеющих один и тот же типовой технологический процесс.

Существует два метода типизации технологических процессов: 1) составление технологии на «слепышах»; 2) составление технологии на групповых картах.

При составлении технологии на «слепышах» используют карты технологического процесса, на которых типографским способом отпечатан текст типового технологического процесса. В тексте остаются свободные места для записи размеров, количества и диаметров отверстий, а также других параметров, характерных для данной конкретной детали и не записанных в «слепыше».

Составление технологии на групповых картах сводится к составлению списка деталей, которые изготовляют по технологии данной групповой карты. В этом списке указывают номер чертежа детали, количество штук (на одно изделие), подлежащих изготовлению; размеры заготовок; количество и диаметр отверстий; марку материала; усилие или мощность оборудования; норму времени на изготовление детали; цех-потребитель детали.

Применение групповых технологических карт сокращает количество технологической документации. Однако групповые карты по сравнению со «слепышами» имеют ряд недостатков; основными из которых являются: снижение оперативности; затруднения в нахождении детали; усложнение в изменении технологии.

Возможность применения типовых технологических процессов обусловливается классификацией и типизацией деталей.

Резкое сокращение периода подготовки производства, а также цикла производства достигается при нормализации деталей и их элементов, которая предшествует классификации и типизации. Нормализация деталей эффективна, и с экономической точки зрения стоимость изделия с введением нормализации снижается.

Автоматизация и комплексная механизация производственных процессов в мелкосерийных и серийных производствах до сих пор не считались экономически целесообразными. Проф. В. В. Бойцов провел большие работы по классификации и нормализации деталей и их элементов, а также по типизации технологических процессов. Эти работы явились основой для разработки проблем по автоматизации и механизации штамповочных и ряда других производств с соблюдением условий быстрой переналаживаемости, т. е. условий мелкосерийных производств.

§ 2. ТЕХНОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Каждое изделие можно изготовлять различными технологическими процессами. Выбор варианта технологического процесса зависит от стоимости изделия при данном варианте, сроков изготовления изделия и обусловленной его точности. Экономичность варианта определяется его технологической себестоимостью.

Технологической себестоимостью называется сумма затрат производства, величина которых зависит от технологического процесса, принятого в рассматриваемом варианте. В технологическую себестоимость не включаются затраты, одинаковые для обоих вариантов. Например, если раскрой металла оди-

наков для сопоставляемых вариантов технологического процесса, то стоимость материала не включается в технологическую себестоимость.

Номенклатура затрат, составляющих технологическую себестоимость, во многом зависит от технологического процесса, который вводится во вновь создаваемое или уже действующее предприятие.

Все производственные затраты, из которых складывается общая себестоимость детали изделия, можно разделить на две категории: 1) затраты, связанные с выполнением операции или технологического процесса в целом, и 2) затраты, не связанные с выполнением операции или технологического процесса, а зависящие от всей производственной деятельности цеха.

Затраты первой категории определяют технологическую себестоимость, затраты второй категории в технологическую себестоимость не входят.

Обычно для определения технологической себестоимости единицы изделия или единичной операции производят подсчет технологической стоимости всей программы и, исходя из стоимости всей программы, определяют единичную стоимость.

В условиях действующего производства технологическая себестоимость всей программы складывается из следующих частей:

1) переменных расходов, изменяющихся с изменением объема производства (программы), в который входят затраты на производственных рабочих, стоимость эксплуатации универсального инструмента (ролики к гибочным станкам, сверла и т. д.), стоимость эксплуатации оборудования (в эту стоимость включаются расходы по планово-предупредительному ремонту, межремонтному обслуживанию оборудования, смазочным и обтирочным материалам, оплаты электроэнергии, газа, воды и пр.), отчисления по амортизации универсального оборудования и стоимость материалов;

2) постоянных расходов, не зависящих от объема производства, к которым относятся стоимость эксплуатации штампов, специальной оснастки и т. д., отчисления по амортизации специального оборудования и оснастки.

Постоянные расходы можно подсчитать по формуле:

$$C_{\text{п}} = \frac{1{,}4 \cdot S_{\text{п}}}{П_0}, \qquad (105)$$

где $C_{\text{п}}$ — стоимость эксплуатации специальной оснастки с амортизацией и ремонтом;

$S_{\text{п}}$ — стоимость специального приспособления или штампа;

$П_0$ — величина программы выпуска деталей с момента запуска серии до снятия с производства;

1,4 — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт приспособлений или штампов.

Для сравнения и выбора наиболее рационального варианта технологического процесса рекомендуется применять соотношение:

$$E = VП + C, \tag{106}$$

где E — расходы для выполнения технологического процесса на программу;

V — переменные расходы на единицу изделия;

C — постоянные расходы, не зависящие от программы;

$П$ — величина программы в штуках.

Себестоимость единичной операции или стоимость единицы изделия может быть определена по формуле [1]:

$$E_{ед} = V + \frac{G}{П}. \tag{107}$$

Условием целесообразности применения первого варианта по сравнению со вторым является

$$E_1 < E_2$$

или

$$V_1П + C_1 < V_2П + C_2,$$

где индексы 1 и 2 соответственно присвоены первому и второму вариантам. Для более удобного проведения анализа рекомендуется построить график (рис. 160, *а*). Эта зависимость представляет собой уравнение прямой (рис. 160, *б*).

Из графиков видно, что влево от точки $П_к$ (пересечение кривых) рационально применять второй вариант, а вправо, наоборот, экономически целесообразен первый вариант. При составлении графиков обычно задаются условными годовыми программами в 1000, 2000, ..., 10 000 штук и т. д.

Сравнительная оценка экономичности того или иного варианта может быть проведена по упрощенной формуле:

$$E = (M + m) + З + O, \tag{108}$$

---

[1] Как видно из формулы (106), при применении инструментальных штампов C будет очень велико, а $П$ в условиях мелкосерийного производства мало и V может быть много меньше, чем $C/П$. При этом стоимость единицы изделия будет очень велика.

где E — себестоимость программы выпуска запланированного количества изделий;

M — стоимость материала на программу;

m — стоимость окончательных отходов, сдаваемых соответствующим потребителям;

$З$ — зарплата основных рабочих;

$О$ — стоимость оснастки и специального оборудования и отчислений по амортизации универсального оборудования.

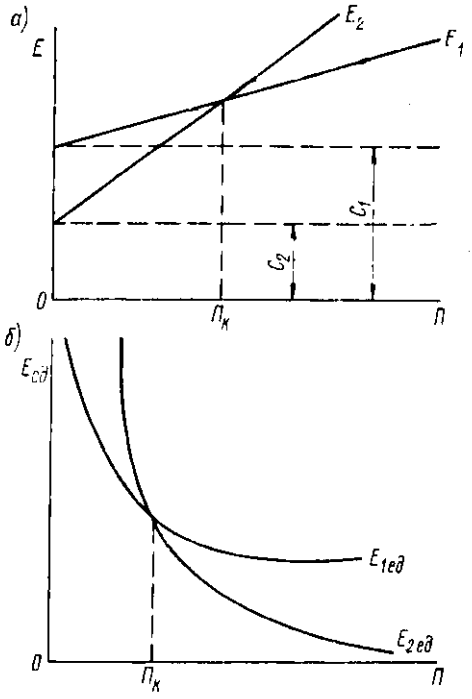


Рис. 160. Графики сравнения технологических себестоимостей:

а — для программы; *б* — для единицы изделия

Поскольку наибольший удельный вес в себестоимости штампованных деталей, изготовленных из листов и профилей, приходится на материалы, технологическую оснастку и зарплату основных рабочих, применение формулы (108) обеспечивает точность, достаточную при ориентировочных расчетах.

Выбор того или иного метода для формообразования деталей из листа и профилей, в зависимости от ряда условий, может быть ориентировочно произведен по табл. 25.

По табл. 25 подбор рационального метода формоизменения будет приближенным и экономическая целесообразность должна быть определена расчетным путем.

На рис. 161 приведен график зависимости технологической себестоимости изготовления детали при использовании станка ПГР-7 (в два перехода) и станка ПГ-2 от годовой программы.

При гибке детали на станке ПГ-2 затраты на оснастку значительно меньше и при программе в 500 штук применять станок ПГР-7 не экономично. При большей программе, наоборот, выгодно применять такой станок.

Таблица 25

Область применения различных методов штамповки

(ориентировочные данные)

Метод штамповки	Мелкосерийное производство				Крупносерийное производство			
	изделия невысокой точности		изделия высокой точности		изделия невысокой точности		изделия высокой точности	
	мелкие	крупные	мелкие	крупные	мелкие	крупные	мелкие	крупные
Гибка листовых деталей на станках типа КГЛ без автоматической корректировки углов пружинения . . .	+	+	—	—	+	+	—	—
То же, но с корректировкой углов пружинения . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
Гибка на станках типа ПГР деталей из профилей . . .	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+
Штамповка резиной, работающей в качестве матрицы на гидропрессах . . .	+	+	(+)	(+)	+	+	—	—
То же, но с резиной, работающей в качестве пуансона .	+	+	(+)	(+)	+	+	—	—
То же, но с резиной, работающей в качестве матрицы с прижимом . . .	+	—	+	—	+	—	+	—
Ударная штамповка резиной	+	(+)	+	(+)	+	(+)	+	(+)
Гидроштамповка . .	—	+	—	+	—	+	—	+
Штамповка на падающих молотах . .	+	(+)	—	—	—	—	—	—
Изготовление деталей на обтяжных и растяжных прессах	—	+	—	+	—	+	—	+
Штамповка взрывом	+	+	+	+	+	+	+	+

Условные обозначения: + широкое применение;
(+) ограниченное применение;
— не применяется.

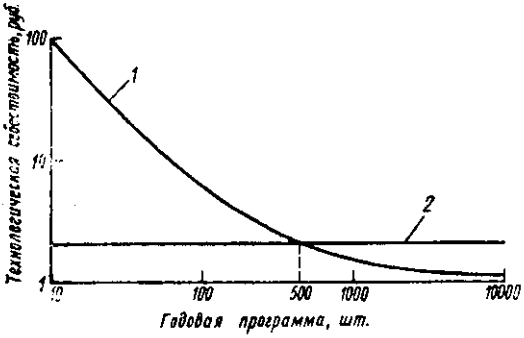


Рис. 161. Зависимость от годовой программы технологической себестоимости изготовления детали при применении станков ПГР-7 и ПГ-2:

1 — обтяжка на станке ПГР-7; *2* — гибка универсальными роликами на станке ПГ-2

На рис. 162 построен график зависимости технологической себестоимости при вариантах штамповки детали в инструментальном штампе и резиной от годовой программы.

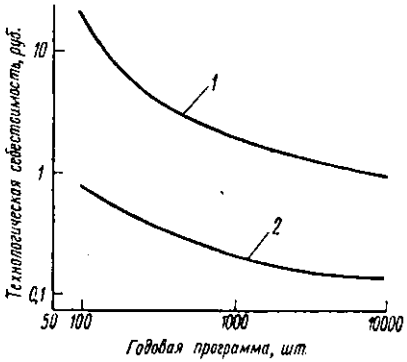


Рис. 162. Зависимость от годовой программы технологической себестоимости изготовления детали из листового металла при штамповке в инструментальном штампе и резиной на формблоке:

1 — штамповка в инструментальном штампе; *2* — штамповка резиной на формблоке

Как видно из рисунка, даже при больших программах более экономично применять штамповку резиной.

Аналогичный график дан на рис. 163 для случая формообразования детали путем выдавливания на токарно-давиль-

ном станке по сравнению с ее штамповкой в инструментальном штампе.

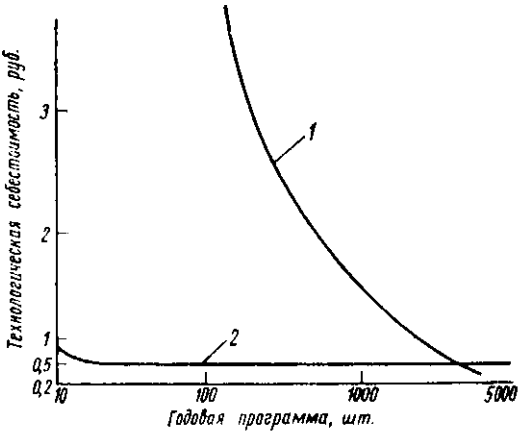


Рис. 163. Зависимость от годовой программы технологической себестоимости изготовления детали из листового металла при вытяжке в два перехода в инструментальных штампах и обкаткой:

1 — вытяжка за два перехода в инструментальных штампах; *2* — выдавливание на токарно-давильном станке

Из описанного выше следует, что величина программы является решающим фактором при выборе того или иного вида штамповки и при небольших сериях обычно экономически целесообразны специальные виды штамповки.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТЕРМИНОЛОГИЯ, ПРИНЯТАЯ В КНИГЕ

В технологии машиностроения за последние 10—15 лет произошли существенные изменения. Появились принципиально новые методы изготовления деталей, новые методы их сборки и контроля; изменились и способы неразъемных соединений. Высокая напряженность рабочих процессов в новых машинах потребовала использования новых материалов, обработка которых старыми методами стала невозможной. Эксплуатационные и экономические требования заставили решать проблему снижения веса машин и повышения надежности их работы. Темп развития техники обусловил быструю сменность объектов производства. Возникла проблема комплексной механизации и автоматизации производства. Но все это далеко не исчерпывает перемен, происшедших в технологии машиностроения.

Наряду с этим терминология и ряд технологических определений остались неизменными, несмотря на то, что они уже не отвечают новым производственным требованиям.

В ряде литературных источников отражены некоторые изменения в терминологии и определениях понятий, соответствующие новым условиям.

Приведенные в данной книге терминология и определения в известной мере учитывают современный уровень развития производства, но, видимо, и они будут в дальнейшем изменяться и уточняться.

Правильное и точное понимание терминов облегчает усвоение изложенного материала.

В настоящей книге принята следующая трактовка терминов:

1. **Производственным процессом** называют всю совокупность процессов, осуществляемых с целью превращения исходных материалов или полуфабрикатов в готовые изделия. Таким образом, производственный процесс связан с работой всех цехов и отделов предприятия (основных, вспомогательных и обслуживающих).

2. **Технологический процесс** — совокупность действий, непосредственно связанных с изменением форм, размеров, внешнего вида, свойств исходных материалов, заготовок, деталей, узлов, агрегатов. Таким образом, технологический процесс включает только те действия, которые совершаются над исходными материалами или полуфабрикатами, идущими на изготовление продукции, выпускаемой предприятием.

3. **Переход** — составная (неделимая) часть технологического процесса, включающая основные и вспомогательные или только вспомогательные действия, связанные с одним законченным применением рабочего инструмента или оснастки.

В результате основных действий изменяется форма, размеры или состояние изделий, вспомогательные действия необходимы для подготовки основных. Переход является частью операции.

4. **Операция** — комплекс переходов, выполняемых на одном рабочем месте над изделием (деталью, группой деталей, узлом и т. д.) до начала выполнения на этом же рабочем месте того же комплекса переходов над последующим изделием из той же партии.

Объединение переходов в операции зависит от установленного технологического процесса и общего планирования производственного процесса. К одному рабочему месту можно прикрепить произвольное число переходов (от одного до всех), составляющих технологический процесс. Тем самым, при изменении состава операций, а также типа применяемого оборудования и оснастки, изменяется и время, необходимое для выполнения операции.

Различают дифференцированный технологический процесс, при котором число операций увеличивается за счет сокращения переходов в каждой операции, и концентрированный технологический процесс, при котором число операций сокращается за счет увеличения числа переходов в каждой операции.

5. **Типы производств** — единичное, серийное и массовое.

Единичным (индивидуальным) называют производство, при котором изготовление одного или нескольких типов изделий не повторяется (или повторяется через неопределенные промежутки времени). Характерным признаком единичного производства являются: большая номенклатура выпускаемых изделий; относительно малая программа выпуска; применение универсального или легко переналаживаемого специализированного оборудования и оснастки; расположение оборудования в цехах группами различных типов.

Серийным называют такое производство, которое изготовляет изделия партиями или сериями, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени. Величина

партии изготовляемых изделий определяет масштаб производства мелкосерийным, серийным или крупносерийным.

Для серийного производства характерна периодичность выполнения операций технологического процесса по отдельным процессам.

Оборудование и оснастка, в зависимости от номенклатуры, выпускаемых типов изделий и их числа, применяются универсальные или специализированные, в отдельных случаях специальные.

Массовым называют такое производство, при котором процесс изготовления изделий данного типоразмера непрерывен на всех стадиях производства без переналадки оборудования для выполнения других процессов.

Для массового производства характерно расположение оборудования и рабочих мест в строгой последовательности операций. Время производства операций на каждом рабочем месте должно быть кратно заданному времени темпа производства. Цикл производства минимален, что важно с экономической точки зрения.

При малом цикле производства ускоряется оборачиваемость оборотных средств.

6. **Точность изготовления и допуски.** Под точностью изготовления детали или изделия понимают степень соответствия их параметров, характеристик, размеров заданным. Степень соответствия геометрических параметров детали заданным принято называть точностью обработки детали. Заданную точность обработки назначают при разработке чертежей в виде допусков.

Допуск указывает пределы, в которых должно находиться действительное значение данного параметра после изготовления детали.

Рассматривая форму детали как совокупность поверхностей, различают две характеристики точности обработки: точность самой поверхности и точность расположения этой поверхности относительно других (точность размеров, координирующих поверхность, параллельность, перпендикулярность и т. п.).

Точность выполнения поверхностей задают допусками на их геометрические размеры, допусками на искажение формы и классами чистоты поверхности. Точность взаимного расположения поверхностей задают допусками на определяющие размеры и технологическими условиями, к которым относятся допустимые непараллельности, несоосности, неперпендикулярности и т. п.

При назначении допусков пользуются ГОСТами и ведомственными нормалями. Допуски на нерабочие и несопрягаемые поверхности детали обычно не задают (свободные раз-

меры). Однако в технических условиях указывают отклонения этих размеров от номинальных значений со ссылкой на класс точности, общий для всех таких размеров.

7. **Раскрой материалов и припуски.** В качестве исходного материала для изготовления деталей особыми методами штамповки применяют листовой и профильный металл. Экономное расходование металлов резко снижает стоимость деталей. Известно, что при холодной штамповке деталей оболочек изделий стоимость металла составляет 50—70% от общей стоимости детали.

На экономное расходование металла существенно влияет правильный выбор заготовки материала. При проектировании технологических процессов необходимо выбирать размеры исходных листов, профилей и способ их раскроя на заготовки так, чтобы отходы были минимальными.

Различают отходы окончательные (неиспользуемые) и отходы, используемые в производстве. Если отход после раскроя заготовки крупной детали можно использовать для раскроя заготовок более мелких деталей, то такой отход является и с п о л ь з у е м ы м, если же он не может быть использован, то его считают о к о н ч а т е л ь н ы м.

Экономичность раскроя оценивают коэффициентом использования материала при раскрое $K_з$, представляющим собой отношение веса металла заготовок $Q_з$ к весу израсходованного металла Q, выраженного в процентах:

$$K_з = \frac{Q_з}{Q} 100\%.$$

Различают отходы, отделение которых неизбежно связано с приданием заготовке необходимых очертаний детали (например, металл отверстий облегчения), и отходы, получаемые по чисто технологическим причинам, вследствие того, что размер заготовок превышает размер детали.

В первом случае — это конструктивный припуск, во втором — технологический. Сумма обоих припусков является общим припуском. Нужно стремиться к уменьшению припусков, так как материал их, как правило, является окончательным отходом.

8. **Деформация** — изменение формы или объема тела под влиянием (действием) системы сил или процесс формоизменения, при котором изменяется расстояние хотя бы между какими-либо двумя точками. Величина деформации зависит от величины, скорости и направления приложенных сил, свойств материала и температуры деформируемого тела.

Деформации бывают двух видов: упругая и пластическая.

У п р у г а я д е ф о р м а ц и я — обратимое изменение объема тела. Упругая деформация металла осуществляется за

счет изменения объема (плотности) металла. После прекращения воздействия системы сил атомы металла возвращаются в исходное положение устойчивого равновесия.

Пластическая деформация — необратимое изменение формы тела (необратимая деформация).

Пластическая деформация осуществляется за счет перемещения одних частиц тела по отношению к другим. При снятии системы усилий тело остается формоизмененным, однако каждой пластической деформации сопутствует и упругая.

9. **Упругость** — свойство материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия системы сил. Идеально упругих тел нет. После снятия системы сил форма тела остается незначительно измененной.

10. **Пластичность** — свойство материала изменять свою форму под действием системы сил. Пластичность любого материала не абсолютна. Так, мрамор при всестороннем давлении порядка 10 000 *ат* приобретает пластические свойства; он растягивается без разрушения и может удлиняться до 25%, такими же свойствами будет обладать чугун при высоком всестороннем давлении. Пластичность материала изменяется от скорости формоизменения.

При пластическом деформировании нет простой зависимости между напряжением и деформациями, как при упругом деформировании. Для каждого материала существует свое определенное математическое выражение, отражающее связь между напряжениями и деформациями.

Порядок приложения нагрузок и их нарастание при таком деформировании играют существенную роль, что не имеет значения при упругом деформировании.

11. **Хрупкость** — свойство материала разрушаться без проявления остаточных деформаций.

Хрупкость и упругость — свойства, обратные пластичности. Хрупкость не абсолютна для всех тел. С изменением условий деформирования хрупкость может перейти в пластичность.

12. **Анизотропность** — неодинаковость свойств материала в различных направлениях.

13. **Изотропность** — одинаковость свойств материала в различных направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев К. К. и Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.

Альберт, Борн, Хус, Мательсон, Винтер. Деформация атомных ядер. Сборник «Проблемы физики», 1953.

Бутузов Е. А. Некоторые новые вопросы штамповки точных деталей. Сборник трудов МВТУ им. Баумана. М., Оборонгиз, 1959.

Вайтрауб Д. А. Новый метод изготовления полых деталей, имеющих форму тел вращения. М., Машгиз, 1956.

Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. т. I, II, III. М., Металлургиздат, 1960.

Горбенко Н. И., Грошиков А. И., Заславский Ю. Л. Заготовительно-штамповочные работы в самолетостроении. М., Оборонгиз, 1961.

Громова А. Н., Завьялова В. И., Коробов В. К. Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве. М., Оборонгиз, 1960.

Давыдов В. И. Изделия из тонкостенных профилей. М., Машгиз, 1957.

Журавлев В. Н. Снижение веса машиностроительных конструкций. Свердловск, Машгиз, 1959.

Зернов И. А., Коноров Л. А. Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей самолетов. М., Оборонгиз, 1960.

Израелит Г. Ш. Механические испытания резины и каучука. М., Госхимиздат, 1949.

Исаченков Е. И. Новые способы штамповки. М., Машгиз, 1955.

Макс Борни, Хуан Кунь. Динамическая теория кристаллических решеток. ИЛ, 1958.

Кузьмин С. И., Лебедянская Н. Д., Зайцев А. Н. Штамповка листового металла газовым пуансоном. Известия высших учебных заведений, «Машиностроение». Изд. МВТУ им. Баумана, 1960.

Красичкова Б. Г., Леньков С. С. Изготовление штамповочной оснастки из пластмасс. М, Машгиз, 1961.

Малов А. Н. и Попов Е. А. Конспект лекций по курсу холодной штамповки. М., изд. МВТУ, 1947.

Мещерин В. Г. Справочник по листовой штамповке и штампам. Росгосместпром, 1950.

Малкин А. Я. Основы технологии обработки деталей машин. М., Машгиз, 1961.

Мошнин Е. Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах. М., Машгиз, 1959.

Поконечный Г. Ю. Комбинированная штамповка деталей при помощи резины. «Вестник машиностроения», 1957, № 6.

Пихтовников Р. В. Использование взрывной волны для вытяжки и формовки средних и крупных деталей при малом масштабе производства. Сборник «Новое в технологии высокопроизводительной листовой штамповки». Машгиз, 1959.

Пытьев П. Я. Штампы для падающих молотов с малосвинцовыми и бессвинцовыми пуансонами. М., Оборонгиз, 1959.

Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. М., Машгиз, 1959.
Розанов Б. В. и Львов Д. С. Давильные работы. М., Машгиз, 1951.
Ровинский Г. Н., Алабин С. В., Филиппов В. В., Калачев К. А., Зыбин В. Г. Холодная штамповка в машиностроении. М., Машгиз, 1954.
Сатель Э. А., Сомборский Г. И., Брянский Г. А., Летенко В. А. Основы технологической подготовки производства и организации труда. М., Машгиз, 1959.
Тиллес С. А. Экономика технологических процессов механической обработки. М., Машгиз, 1959.
Унксов Е. П. Инженерная теория пластичности. М., Машгиз, 1959.
Чернышев Н. А. Основы теории напряжений и деформаций. М., Машгиз, 1950.
Шофман Л. А. Элементы теории холодной штамповки. М., Оборонгиз, 1952.
Юм-Розери. Атомная теория для металлургов. М., Металлургиздат, 1955.
Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. М., Машгиз, 1955.
Штамповка взрывом. Metal Industry, т. 94, № 6, 1959, стр. 109.
Взрывная штамповка посредством электричества. Mechanical Engineering, т. 81, № 11, 1959, стр. 77.
«Искровая бомба» — новый способ деформирования металлов. Trow Age, т. 184, № 12, 1959, стр. 109.
Новые методы деформирования металлов. Space Aeronautics, т. 32, № 5, 1959, стр. 85.
Новый способ взрывной штамповки. Flugkörper, № 2, 1960, стр. 65.
Применение энергии взрыва в металлообрабатывающей промышленности. Mechanical Engineering, т. 82, № 5, 1960, стр. 48.
Взрывная штамповка. Product Engineering, № 16, 1959, стр. 26.
Штамповка металлов взрывом. Mechanical Engineering, № 16, 1959, стр. 26.
Формовка металлов с высокими скоростями. Metal Progres, № 5, 1958, т. 74.
Применение взрывчатых веществ в металлообрабатывающей промышленности. Bl Metal Industries, т. 37, № 396, 1960, стр. 253.
Теория и практика штамповки взрывом. Metalwarking Production, № 42, стр. 1645.
Значения формы и положения зарядов взрывчатых веществ при штамповке взрывом. Metalwarking Production, т. 103, № 43, 1959, стр. 1691.
Газовая смесь для штамповки взрывом. Mechanical Engineering, т. 82, № 9, 1960.
Взрывная штамповка трубопроводов. Missles Pockets, т. 70, № 9, 1960, стр. 31.
The Explosiree Engineer, № 2, 1959, т. 37, стр. 52.
Высокоскоростные методы деформирования металлов. Materials in Design Engineering, т. 52, № 1, 1960, стр. 89.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Введение 5

Глава I. **Физические основы холодной штамповки**

§ 1. Строение металлов 7
§ 2. Деформации поликристаллов в металле под действием внешних сил 8
§ 3. Физические основы формоизменения металлов 10
§ 4. Классификация методов холодной штамповки с точки зрения скорости деформации 13

Глава II. **Штамповка резиной**

§ 1. Общие сведения 16
§ 2. Давления, развиваемые резиновыми подушками 19
§ 3. Периоды работы резиновых подушек 24
§ 4. Операции, выполняемые методом штамповки резиной . . . 26
§ 5. Сорта резины для подушек 50
§ 6. Оснастка, особенности ее конструирования и изготовления . . 53
§ 7. Оборудование, применяемое при штамповке резиной . . . 58

Глава III. **Разновидности метода штамповки резиной**

§ 1. Гидрорезиноштамповка 63
§ 2. Оборудование при гидрорезиноштамповке 64
§ 3. Ударная штамповка резиной 66
§ 4. Технология изготовления деталей методом ударной штамповки резиной 70
§ 5. Оборудование и оснастка при ударной штамповке резиной . . 75

Глава IV. **Штамповка на падающих молотах**

§ 1. Сущность метода 79
§ 2. Технология изготовления деталей 81

Глава V. **Гидроштамповка**

§ 1. Общие сведения 84
§ 2. Напряжения и деформации, возникающие в материале заготовки 86
§ 3. Оборудование при гидроштамповке 91
§ 4. Оснастка, особенности ее конструирования и изготовления . . 95

Глава VI. **Формообразование деталей из профильного и листового металла на специальных прессах и станках**

§ 1. Общие сведения 98
§ 2. Элементы теории гибки с растяжением 100

§ 3. Формообразование деталей на станках типа ПГР 104
§ 4. Гибка деталей на роликовых станках 111
§ 5. Формообразование деталей на копировально-гибочных станках типа КГЛ 118
§ 6. Формообразование деталей на прессах типа ОП и РО . . . 121
§ 7. Формообразование деталей на прессах типа ПКД 133

Глава VII. **Обкатка и раскатка**

§ 1. Общие сведения 137
§ 2. Технологический процесс обкатки 138
§ 3. Технологический процесс раскатки 140
§ 4. Элементы теории процесса раскатки 142
§ 5. Заготовки и их расчет 147
§ 6. Оборудование и оснастка при обкатке и раскатке . . . 152

Глава VIII. **Штамповка взрывом**

§ 1. Общие сведения 158
§ 2. Разновидности взрывчатых веществ и их особенности . . . 159
§ 3. Способы штамповки взрывом и применяемое оборудование . . 162
§ 4. Расчет процессов высокоскоростного деформирования . . . 170
§ 5. Изменение металла при импульсном нагружении 174
§ 6. Применение электрогидравлического эффекта в качестве источника энергии 175

Глава IX. **Применение легкообрабатываемых и неметаллических материалов для штамповочной оснастки**

§ 1. Материалы, применяемые при изготовлении оснастки . . . 178
§ 2. Особенности конструирования и изготовления оснастки . . . 184

Глава X. **Принципы проектирования технологических процессов**

§ 1. Исходные данные и порядок разработки технологических процессов 189
§ 2. Техноэкономическая оценка вариантов технологических процессов 191
Приложение. Терминология, принятая в книге 198
Литература 203

Евгений Александрович Бутузов

Специальные виды штамповки

Редактор *С. С. Леньков*

Редактор издательства *А. Н. Варгакова*

Художественный редактор *И. Ф. Муликова*

Технический редактор *Р. К. Воронина*

Корректор *Г. И. Кострикова*

Художник *Н. Я. Вовк*

Сдано в набор 1/VI-1963 г. Подписано к печати 17/X-1963 г. Бумага 60×90¹/₁₆. 13 печ. л. 11,60 уч.-изд. л. Тираж 10 500 экз. Т—13142. Заказ Е-254. Изд. № от,39. Цена 45 коп. Переплет № 5

Государственное издательство «Высшая школа», Москва, К-62, Подсосенский пер., 20.

Типография «Татполиграф» Министерства культуры ТАССР Казань, ул. Мирославского, д. № 9.