

И. И. БЕЗРУЧКО, М. Е. ЗУБЦОВ, Л. Н. БАЛАКИНА

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов механических специальностей вузов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАД 1967

В книге изложены основы теории обработки металлов давлением, способы нагрева и описание нагревательных устройств.

В ней рассмотрены технология обработки металлов давлением, применяемое оборудование, механизация и автоматизация процессов, а также техника безопасности и организация рабочего места при ковке, горячей объемной и листовой штамповке.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для высших технических учебных заведений. Она может быть использована также инженерно-техническими работниками, связанными с обработкой металлов давлением.

Рецензенты: кафедра АМ6
МВТУ им. Н. Э. Баумана; канд. техн. наук доц. А. П. Атрошенко
Редактор канд. техн. наук доц. В. Д. Лисицын

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная книга является учебным пособием по общему курсу обработки металлов давлением, а также разделом курса технологии металлов для студентов высших технических учебных заведений механических и машиностроительных специальностей применительно к программе, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования СССР для указанных специальностей.

Учебное пособие построено на материалах отечественных заводов и проектных организаций, на основе трудов русских ученых, инженеров и новаторов производства, а также многолетнего опыта авторов по чтению этого курса в Ленинградском ордена Красного Знамени механическом институте.

Книга состоит из восьми глав, в которых излагаются основы теории обработки металлов давлением, способы нагрева и нагревательные устройства, технология производства — прокатка, волочение, прессование, ковка, горячая объемная и листовая штамповка. Приводятся оборудование, штампы и инструмент, применяемые при обработке давлением, а также освещаются вопросы механизации и автоматизации процессов, техники безопасности и организации рабочего места при ковке, горячей объемной и листовой штамповке.

Гл. I (кроме § 5) и II написаны канд. техн. наук доц. Л. Н. Балакиной, гл. III и VIII и § 5, гл. I — канд. техн. наук доц. М. Е. Зубцовым, гл. IV, V и VII — канд. техн. наук доц. И. И. Безручко, гл. VI — совместно И. И. Безручко и Л. Н. Балакиной.

В связи с утверждением нового государственного стандарта «Международная система единиц — СИ» (ГОСТ 9867—61) в данной книге для удобства пользования наряду со старой системой приводится и новая.

ВВЕДЕНИЕ

Детали машин, сооружений и другие изделия современной техники изготавливаются главным образом из металлов и их сплавов, получаемых на металлургических заводах.

Основными методами изготовления металлических деталей и их полуфабрикатов являются литье, обработка давлением и обработка резанием. Особое место занимает обработка давлением, заключающаяся в пластическом изменении формы металла посредством его деформирования. В процессе пластического деформирования изменяется структура металла и повышаются его механические свойства. Поэтому наиболее тяжелонагруженные детали машин изготавливаются обработкой давлением.

Обработка давлением позволяет получать детали или их полуфабрикаты в виде заготовок, близких по форме к готовым деталям, с большой производительностью и малыми отходами. Металл подвергается пластической деформации как в холодном, так и в горячем состоянии.

Пластическое деформирование осуществляется различными способами, к числу которых относятся прокатка, свободная ковка, ковка в штампах или объемная штамповка, прессование, волочение и листовая штамповка. Вследствие возможности формообразования металла с высокой производительностью и малыми отходами, а также возможности повышения его механических свойств значение обработки давлением в современной промышленности огромно. Достаточно сказать, что около 90% всей выплавленной в Советском Союзе стали и около 55% всего выплавленного цветного металла подвергается различным способам обработки давлением.

Около 78% выплавленной стали прокатывается на различных прокатных станах с целью изготовления сортамента в виде прутков разнообразного профиля сечения, рельсов, балок, труб, тонких и толстых листов, проволоки и т. п. Около 15% выплавленной стали перерабатывается свободной ковкой. Свыше 15—20% всей выплавленной стали после ее прокатки подвергается объемной штамповке, посредством которой изготавливаются самые разнообразные детали и их полуфабрикаты для производства автомобилей, тракторов, тепловозов, станков, танков, ракет, самолетов, а также предметов ширпотреба. Такие современные машины, как

автомобиль, трактор или самолет, содержат по весу от 60 до 85% штампованных деталей.

Большинство способов обработки давлением обладает более высокой производительностью по сравнению с литьем и обработкой резанием. Так, например, на рельсобалочном прокатном стане производится в смену до 1500 *т* рельсов и балок, на проволочном прокатывается до 500 *т* проволоки, а на трубопрокатном получают до 3 км труб диаметром в 200 мм. На штамповочном молоте может быть изготовлено в смену около 1200 коленчатых валов и свыше 2000 шатунов, а на кривошипном прессе при автоматической подаче ленты — до 80 000 готовых шайб. На холодновысадочных машинах изготавливаются десятки тысяч крепежных деталей (болтов, заклепок и т. п.) в смену.

Способы обработки давлением позволяют в ряде случаев получать не только полуфабрикаты в виде промежуточных заготовок для окончательной обработки их резанием, но и готовые детали с высоким классом точности и чистотой поверхности вплоть до 10-го класса и выше [25]. Например, в настоящее время прокаткой изготавливают фольгу в виде лент толщиной 2—5 мк, волочением изготавливают проволоку толщиной в несколько микрон, листовой штамповкой изготавливают готовые детали, непосредственно поступающие на сборку машин. На ряде заводов освоен процесс накатки зубьев шестерен с высокой точностью, не требующих дальнейшей термической и механической обработки.

Из приведенных примеров можно заключить, какое важное значение имеет обработка давлением в металлообрабатывающей промышленности. В связи с непрерывно растущим объемом продукции машиностроения с каждым годом все настойчивее ставится вопрос о повышении коэффициента использования металла.

Обработка металла снятием стружки на сегодняшний день не является рациональной. Перспектива применения принадлежит только способам безотходного формообразования, к которым относится обработка давлением.

Со всей очевидностью можно утверждать, что дальнейший процесс машиностроения будет тесно связан с совершенствованием способов обработки давлением. В технологических циклах обработки давлением важное место занимают вспомогательные процессы, такие, как нагрев, термическая обработка, очистка поверхности изделий, нанесение покрытий и т. п., поэтому совершенствование технологических процессов обработки давлением требует одновременного совершенствования и вспомогательных процессов.

Для получения изделий необходимой формы и качества методами пластического деформирования необходимо знать законы течения металла при его формоизменении. Изучение этих законов составляет одну из главных задач теории обработки металлов давлением.

Развитие теории обработки металлов давлением происходит главным образом в направлении математического описания механики пластической деформации с целью определения величины удельных давлений течения металла при различных технологических процессах.

Современный уровень развития теории обработки металлов давлением позволяет решать многие практические задачи, связанные с пластической деформацией. Большой вклад в создание и совершенствование теории обработки давлением внесен трудами многих советских ученых, в числе которых труды С. И. Губкина, А. А. Ильюшина, Е. П. Унксова, Г. А. Смирнова-Аляева, И. М. Павлова, В. С. Смирнова, Н. И. Корнеева, А. И. Зимина, М. В. Сторожева, Е. А. Попова, И. А. Норицына, И. Я. Тарновского и др.

Глава I

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

§ 1. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Краткие сведения о строении металлов

Металлы и сплавы имеют кристаллическое строение. Так как процесс кристаллизации расплавленного металла протекает одновременно из очень большого количества центров кристаллизации, то металл состоит не из одного кристалла, а из множества кристаллов, называемых зернами, или кристаллитами.

Как известно, идеальный кристалл представляет собой тело, у которого наружная поверхность состоит из плоских граней, пересекающихся под определенными углами. Зерна, или кристаллиты, отличаются от идеальных кристаллов своей произвольной формой наружной поверхности в силу взаимного соприкосновения при росте их из расплава. Однако и те, и другие имеют общность, заключающуюся в закономерном взаимном расположении атомов. Расположение атомов в кристалле условно принято изображать в виде пространственных схем — элементарных кристаллических ячеек.

Под элементарной кристаллической ячейкой подразумевается наименьшее количество атомов, которое при многократном повторении в пространстве образует пространственную кристаллическую решетку (рис. 1).

Существует несколько типов кристаллических решеток. Для металлов характерны три типа решетки (рис. 2): кубическая (объемно-центрированная 1 и гранецентрированная 2), гексагональная 3 и тетрагональная 4. Размеры кристаллической решетки характеризуются параметрами, т. е. периодами повторяемости. Параметры измеряются в килоангстремах ($\kappa\text{X} = 1,00202 \text{ \AA}$; $\text{\AA} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ см}$) и в среднем находятся в пределах 2,8—6,0 κX . Кубическая решетка имеет один параметр a , равный длине ребра куба, гексагональная и тетрагональная решетки характеризуются двумя параметрами a и c .

Кубическую объемноцентрированную решетку имеют α -железо, ванадий, вольфрам, молибден, ниобий и др.; кубическую гранецентрированную — γ -железо, алюминий, свинец, никель, медь и др.; гексагональную кристаллическую — цинк, магний, α -титан, α -кобальт и др.; тетрагональную — марганец, олово.

В кристаллографии для обозначения различных плоскостей и направлений в кристаллах принята система индексации. Для определения плоскостей скольжения в кристалле выбираются оси, параллельные ребрам элементарной кристаллической ячейки. Для кубической решетки индексация плоскостей обозначается тремя цифрами, заключенными в круглые скобки. Эти цифры представляют собой целые числа, пропорциональные обратной величине отрезков, отсекаемых плоскостью на координатных осях. За единицу измерения отрезков принимается длина ребра куба. На рис. 3 показаны некоторые плоскости, проведенные в кубической элементарной ячейке, и даны их обозначения.

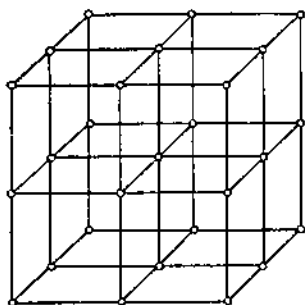


Рис. 1. Схема расположения атомов (ионов) в пространственной кристаллической решетке

Для определения кристаллографического направления линия, соответствующая этому направлению, проводится через начало координат. На этой линии выбирается любая точка и определяются ее координаты; за единицу измерения принимается параметр решетки. Далее определяются наименьшие целые числа, пропорциональные этим координатам. Эти цифры, заключенные в квадратные скобки, являются индексами направления. На рис. 3, а, б дано схематическое изображение основных направлений в кубической элементарной ячейке и их обозначение.

Пространственное расположение атомов в кристалле приводит к различным расстояниям между ними, а также к их различной густоте в определенных кристаллографических плоскостях и направлениях. Из рис. 3 видно, что в заштрихованных кристаллографических плоскостях (100), (110), (111), (112) и направлениях [111], [101], [100] количество атомов, расстояние между ними, а следовательно, и их густота различны.

Как известно, механические, физические и химические свойства кристаллов определяются взаимодействием атомов между собой. Но так как расстояние в кристалле между атомами и их взаимное расположение в разных кристаллографических направлениях

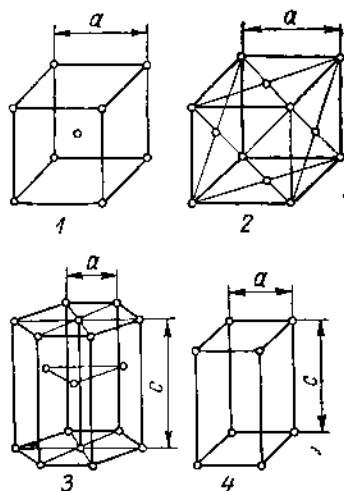


Рис. 2. Элементарные кристаллические ячейки

различны, то свойства его в различных направлениях будут неодинаковы. Различие свойств по разным направлениям называется анизотропией. Анизотропия является характерной осо-

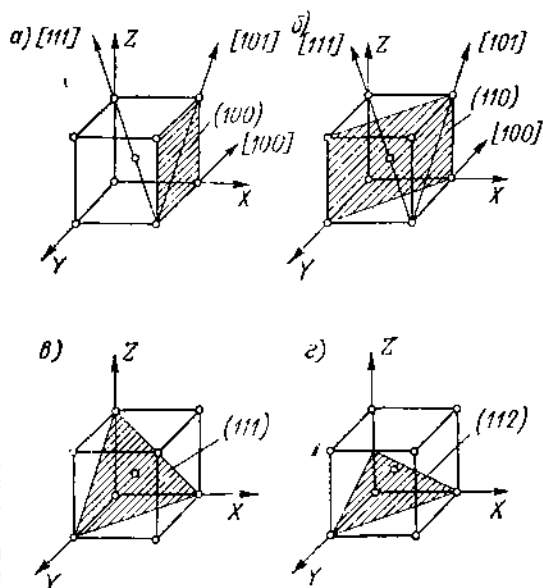


Рис. 3. Некоторые плоскости и направления в кубической объемноцентрированной ячейке и их обозначение

бенностью кристаллического строения. Она наиболее резко выражена в монокристалле, представляющем собой кристалл с единой ориентировкой кристаллографических плоскостей.

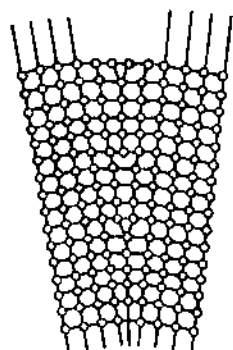


Рис. 4. Схема дислокации на границах кристаллов

Металлы и сплавы представляют собой поликристаллы, состоящие из большого количества по-разному ориентированных зерен. Произвольная ориентировка зерен приводит к усреднению свойств, благодаря чему свойства в поликристалле будут приблизительно одинаковы во всех направлениях.

Рассмотренное строение с правильным расположением атомов в кристаллической решетке относится к идеальным кристаллам. Реальные кристаллы обладают рядом структурных несовершенств (дефектов).

Одним из важнейших видов несовершенства кристаллического строения является дислокация. Дислокацией называется область кристаллической решетки, искаженная под влиянием перемещения в ней атомов. Центром дислокации является искаженная часть решетки, в которой или отсутствует атом, или находится лишний. Дислокации возникают

в процессе кристаллизации, пластической деформации, термической обработки и т. д. Дислокация и другие несовершенства сосредоточиваются преимущественно по границам зерен и блоков (рис. 4). Эти несовершенства в кристаллическом строении определяют реальные свойства металлов и сплавов, а также их поведение в процессе пластической деформации, термической обработки и т. п.

Понятие о пластической деформации

Деформацией называют процесс изменения формы и размеров металлического тела под воздействием приложенных к нему нагрузок. Различают деформацию упругую (обратимую) и пластическую (остаточную).

Упругой деформацией называют такую, при которой после снятия нагрузок тело восстанавливает свою первоначальную форму. Эта деформация сопровождается изменением расстояний между атомами в кристаллической решетке в пределах ее параметра.

Пластической деформацией называют такую, при которой после снятия внешней нагрузки тело не восстанавливает первоначальную геометрическую форму и размеры. Пластическая деформация сопровождается смещением одной части кристалла по отношению другой на расстояния, значительно превышающие расстояния между атомами в кристаллической решетке.

Пластической деформации всегда предшествует упругая деформация. Таким образом, общая деформация в момент действия нагрузки всегда состоит из упругой и пластической деформации. Упругая деформация после снятия нагрузки исчезает.

Пластическая деформация имеет важное практическое значение, так как процессы обработки металлов давлением основаны на пластическом деформировании заготовок. Пластическая деформация сопровождается не только изменением формы и размеров тела. Одновременно с этим в металле появляются внутренние напряжения и происходит изменение его механических и физико-химических свойств.

Величина и характер деформации зависят от пластических свойств металла. Пластичность металлов приближенно может быть оценена относительным удлинением $\left(\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%\right)$ и относительным сужением $\left(\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%\right)$ при испытании образцов на растяжение, где l_0 и F_0 — исходные значения расчетной длины образца и площади его поперечного сечения, а l и F — значения длины и площади поперечного сечения образца после деформации. К характеристикам пластичности металлов относится также ударная вязкость, показывающая работу разрушения при изгибе над-

резанного образца, отнесенную к его площади сечения в месте надреза.

Представление об упругих и пластических свойствах различных металлов дают диаграммы условных (рис. 5, а) и истинных напряжений и деформаций (рис. 5, б).

Диаграммы условных и истинных напряжений и деформаций обычно строятся на основании данных, полученных при испытании образцов на растяжение. В диаграммах условных напряжений по оси ординат откладывается условное напряжение σ , по оси абсцисс относительное удлинение δ (рис. 5, а). Условные напряжения определяются отношением действующего в данный момент усилия

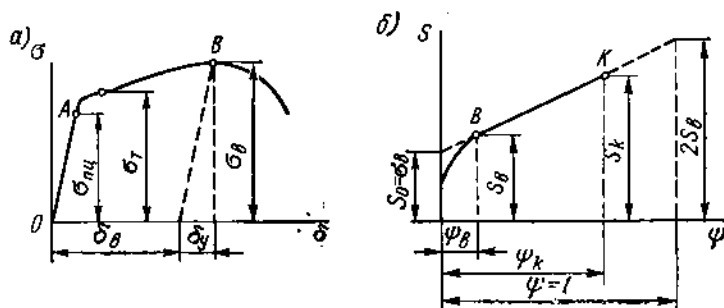


Рис. 5. Схематическая диаграмма растяжения

к первоначальной площади поперечного сечения образца. По диаграмме условных напряжений можно определить предел пропорциональности $\sigma_{пл}$, предел текучести (физический σ_T и условный $\sigma_{0,2}$) и временное сопротивление разрыву σ_B .

Широкое распространение получили диаграммы истинных напряжений в координатах истинное напряжение S — относительное сужение площади поперечного сечения образца ψ (рис. 5, б). Истинные напряжения S представляют собой усилия, отнесенные к площади поперечного сечения образца в данный момент испытания. На диаграмме истинных напряжений точка S_0 характеризует напряжение, отвечающее началу образования шейки, а точка S_K — напряжение в момент разрыва. Касательная к кривой в точке S_0 отсекает на оси ординат отрезок, близкий по величине временному сопротивлению разрыва, т. е. $S_0 = \sigma_0$.

Истинная деформация выражается относительным сужением $\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%$ или относительным удлинением, выраженным через относительное сужение, $\epsilon = \ln \frac{1}{1 - \psi} 100\%$.

Кривая на диаграмме истинных напряжений (рис. 5, б) характеризует способность материала сопротивляться пластической деформации растяжением. Кривые истинных напряжений часто

называют кривыми упрочнения, так как истинное напряжение является пределом текучести материала, получающего упрочнение при растяжении. При обработке давлением пользуются в основном диаграммой истинных напряжений, так как она более точно отображает действительные свойства металлов.

Чем больше разница между пределом прочности и пределом текучести, тем пластичнее металл. У хрупких материалов величина предела текучести приближается к пределу прочности, поэтому они разрушаются почти без пластической деформации. Так разрушается чугун, стекло, фарфор, горные породы и др. Следует заметить, что при нагреве металла до высоких температур значение предела текучести почти совпадает со значением предела прочности.

Пластическая деформация моно- и поликристалла

Для того чтобы понять, как происходит деформация металлов при обработке давлением, рассмотрим прежде всего механизм деформации монокристалла (одного кристалла). Пластическая деформация монокристалла может происходить путем скольжения (сдвига) и двойникования.

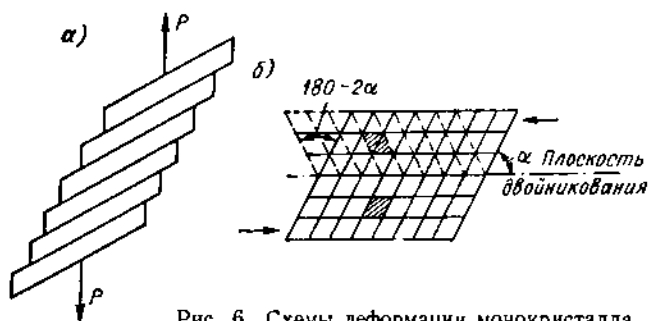


Рис. 6. Схемы деформации монокристалла

Скольжение представляет собой смещение (трансляцию) одной части кристалла относительно другой по некоторым плоскостям (рис. 6, а). Обычно скольжение происходит одновременно по нескольким параллельным плоскостям, причем число этих плоскостей возрастает с увеличением деформирующего усилия. В результате такой деформации появляются многочисленные полосы скольжения (в виде тончайших слоев), хорошо видимые под микроскопом или даже визуальными на полированной поверхности деформируемых образцов. Скольжение в монокристалле происходит не только по определенным кристаллографическим плоскостям, носящим название плоскостей скольжения, но и по определенным кристаллографическим направлениям. Плоскостями

скольжения являются плоскости с наиболее густо размещенными атомами, а направлениями скольжения — направления, по которым межатомное расстояние имеет минимальное значение.

Количество кристаллографических плоскостей и направлений в значительной мере определяет пластичность металлов. Чем больше в монокристалле плоскостей скольжения, тем пластичнее металл. Для металлов с гранецентрированной кубической решеткой плоскостями скольжения являются плоскости октаэдра (111), а направлениями скольжения — направление по диагонали грани [101]. У металлов с объемноцентрированной кубической решеткой плоскостями скольжения являются (110), (112), (111), а преимущественными направлениями скольжения — направление по диагонали куба [111] (рис. 3). В металлах с гексагональной кристаллической решеткой плоскостью скольжения является плоскость базиса (основания), а направления скольжения — направления, совпадающие с диагональю шестиугольника.

Таким образом, в объемноцентрированной кубической решетке плоскостей скольжения 14, в гранецентрированной 4, а в гексагональной 2. Поэтому металлы, кристаллизующиеся в объемноцентрированную ($\text{Fe}\alpha$, Cr, W, Mo, V) и гранецентрированную ($\text{Fe}\gamma$, Cu, Ni, Al) решетки, обладают большей пластичностью, чем металлы с гексагональной кристаллической решеткой (Co, Mg, Zn, Cd).

У металлов с гексагональной кристаллической решеткой при повышении температуры появляются дополнительные плоскости скольжения. В связи с этим металлы с гексагональной кристаллической решеткой могут обрабатываться давлением только в горячем состоянии, а металлы с кубической объемноцентрированной и гранецентрированной решеткой могут подвергаться как холодной, так и горячей обработке давлением.

Скольжение начинается тогда, когда действия максимальных сдвигающих напряжений, превосходящих предел текучести, совпадут с плоскостями скольжения. Максимальные сдвигающие напряжения действуют в плоскостях, расположенных по отношению к действующему усилию под углом 45° . По современным воззрениям процесс скольжения представляет собой процесс последовательного смещения атомов в плоскости скольжения и объясняется наличием в реальных металлах и сплавах дислокаций и других несовершенств в кристаллическом строении.

Для перемещения дислокаций в плоскости скольжения требуются значительно меньшие напряжения, чем для сдвига всей кристаллографической плоскости, так как дислокации могут передвигаться за счет единичных перемещений атомов, в то время как при сдвиге всей плоскости должны быть преодолены силы связи всех атомов, лежащих в данной плоскости. Таким образом, наличие дислокаций в плоскости скольжения облегчает сдвиг отдельных слоев кристалла.

В процессе пластической деформации монокристалла наблюдается также искажение плоскостей скольжения. Вследствие этого деформация по старым плоскостям скольжения прекращается, а новые сдвиги происходят в направлениях, параллельных первым сдвигам, или в других благоприятных кристаллографических плоскостях скольжения. Деформация происходит до тех пор, пока образуются сдвиги в различных направлениях, и прекращается при использовании всех свободных для сдвигов направлений; дальнейшее увеличение напряжения приводит к разрушению металла. При значительных степенях пластической деформации монокристалл размельчается на отдельные кристаллические образования и тем самым превращается в поликристалл.

Вторым механизмом пластической деформации является двойникование, представляющее собой смещение одной части кристалла по отношению к другой, с последующим поворотом частей кристалла; в результате поворота получается зеркальное отображение одной части кристалла по отношению к другой. На рис. 6, б штриховой линией показан двойник, образовавшийся в результате деформации. Двойникование чаще наблюдается в случае деформации при пониженных температурах, а также при динамическом деформировании. Однако пластическая деформация металлов в основном протекает за счет скольжения.

Механизм пластической деформации поликристалла значительно сложнее, чем монокристалла. Это объясняется тем, что в поликристалле зерна отличаются между собой по форме и размерам, обладают неодинаковыми физико-механическими свойствами и различно ориентированы по отношению к деформирующей нагрузке и т. п.

Особую роль в поликристалле играют границы зерен, по которым в процессе кристаллизации образуются так называемые межкристаллитные прослойки, толщина которых не превышает 1—2 мк. Границы зерен отличаются как по составу, так и по структуре, и, как правило, обогащены примесями. На границах зерен скапливаются дефекты кристаллической решетки, в которых атомы обладают более высокой потенциальной энергией. В результате подвижность атомов по границам зерен может быть больше, чем во внутренних слоях зерен, и их относительное перемещение может происходить при сравнительно меньших касательных напряжениях.

Однако деформация пограничных слоев зерен все же затрудняется из-за наличия в них нерастворимых примесей и неправильной формы поверхности самих зерен. В связи с этим различают два вида деформации поликристалла: внутрикристаллитную (по зерну) и межкристаллитную (по границам зерен). Первая так же, как и в отдельном монокристалле, протекает путем скольжения и двойникования, вторая — путем поворота и перемещения одних зерен относительно других.

Оба вида деформации протекают в поликристаллах одновременно. Преобладание того или иного вида деформации определяется соотношением прочности отдельных зерен и их границ при данных условиях деформирования. На прочность зерен и их границ оказывает влияние химический состав, размер зерен, температура и скорость деформации. При нормальной температуре прочность границ зерен, как правило, больше прочности зерен. Поэтому при холодной обработке давлением внутрикристаллитная деформация является основным процессом, обуславливающим изменение формы поликристалла. При высоких температурах прочность зерен больше прочности их границ из-за наличия на границах

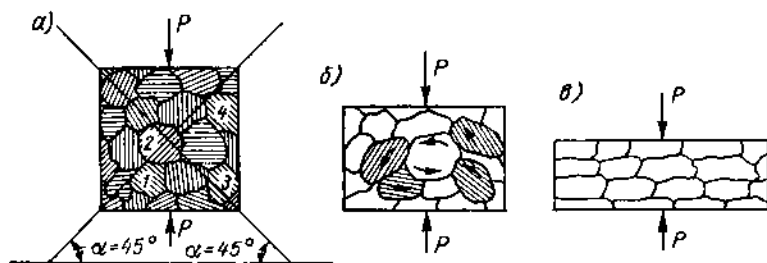


Рис. 7. Схема последовательного развития пластической деформации поликристалла

более легкоплавких примесей и меньшей термодинамической устойчивости пограничных зон самого металла, вследствие чего при горячей обработке давлением преобладает межкристаллитная деформация.

Поскольку в поликристалле зерна имеют различную ориентировку плоскостей скольжения, пластическая деформация при действии внешних сил начинается не во всех зернах одновременно. Вначале деформируются наиболее благоприятно ориентированные зерна, т. е. те зерна, плоскости скольжения в которых составляют с направлением усилия 45° (рис. 7, а, зерна 1, 2, 3, 4). Остальные зерна могут поворачиваться в результате возникновения пар сил, и, когда их плоскости скольжения составят с направлением усилия угол 45° , они также подвергнутся деформации (рис. 7, б).

В результате пластической деформации поликристалла происходит изменение формы зерен: они вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (рис. 7, в). Чем больше степень деформации, тем больше изменяется форма зерна. Вытянутые зерна в поликристалле образуют волокнистую (полосчатую) микроструктуру. Так как одновременно с изменением формы зерен в процессе деформации происходит и поворот плоскостей скольжения в отдельных зернах, то при значительных степенях деформации плоскости скольжения зерен поликристалла стремятся

совместиться с направлением течения металла. Такая ориентировка плоскостей скольжения зерен называется текстурой и вызывает в поликристалле анизотропию свойств.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Упрочнение металла

При холодной¹ обработке давлением (листовая штамповка, волочение, прокатка тонких листов) в металле протекает процесс пластической деформации, вызывающий изменение не только формы и размеров заготовки, но и физико-механических, а также химических свойств металла. С увеличением степени деформации

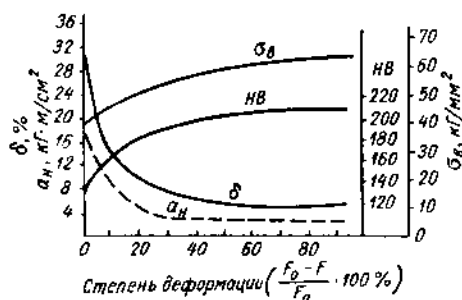


Рис. 8. Влияние холодной деформации на механические свойства низкоуглеродистой стали

возрастают прочностные (временное сопротивление σ_a , твердость HB) и понижаются пластические характеристики металла — рис. 8 (относительное удлинение δ , ударная вязкость a_K) — одновременно увеличивается электрическое сопротивление, уменьшается сопротивление коррозии и теплопроводность; магнитная проницаемость понижается, а коэрцитивная сила увеличивается.

Совокупность явлений, связанных с изменением механических и физико-химических свойств в процессе пластической деформации, называется упрочнением, или наклепом металла.

Физическая природа упрочнения полностью еще не выяснена. Однако наиболее вероятным можно считать, что упрочнение связано с искажением кристаллической решетки деформированного материала, возникновением различного рода нарушений (дислокаций и др.), расположением обломков зерен на плоскостях скольжения, а также с выделением дисперсных частиц по плоскостям скольжения.

Возврат и рекристаллизация

При нагреве упрочненного металла или сплава в нем происходят обратимые процессы, приводящие к частичному или полному разупрочнению. При нагреве металла повышается кинетическая

¹ Здесь под холодной обработкой давлением понимается деформация при комнатной температуре. Более строгое определение холодной обработки давлением см. на стр. 19.

энергия атомов, усиливаются их тепловые колебания, вследствие чего атомы получают возможность возвращаться в равновесное состояние.

Нагрев упрочненного металла до сравнительно невысоких температур — $(0,25 \div 0,30) T_{пл}$ — обеспечивает частичное снятие внутренних напряжений, а следовательно, и некоторое восстановление пластических свойств. Это явление называется возвратом (отдыхом).

На рис. 9 изображена схема изменения структуры металла после холодной деформации и нагрева. Как видно из рис. 9, в,

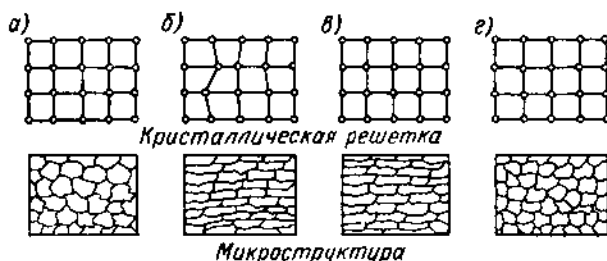


Рис. 9. Схема изменения структуры металла после холодной деформации и нагрева: а — до деформации; б — после деформации; в — после возврата; г — после рекристаллизации

в результате возврата форма и ориентировка зерен, созданные деформацией, не изменяются, а кристаллическая решетка восстанавливается.

Возврат повышает сопротивление металла коррозии и резко уменьшает склонность к самопроизвольному растрескиванию, которое, например, особенно часто наблюдается в латунных деталях, полученных холодной штамповкой.

При нагреве упрочненного металла выше температуры возврата в нем протекает процесс рекристаллизации. При температуре рекристаллизации энергетический потенциал атомов достигает такой величины, что они получают возможность перегруппировки и интенсивного обмена местами. В результате этого при рекристаллизации восстанавливается микроструктура металла (рис. 9, г). После рекристаллизации исчезает упорядоченная ориентировка зерен и металл приобретает первоначальные свойства.

Процесс рекристаллизации протекает с некоторой скоростью, зависящей от температуры и степени деформации, и чем выше температура и степень предшествующей деформации, тем больше скорость рекристаллизации.

Температура начала рекристаллизации зависит от состава сплава и степени деформации. А. А. Бочвар установил зависимость между температурой начала рекристаллизации $T_{кр}$ и

абсолютной температурой плавления $T_{пл}$ и выразил это в виде эмпирической формулы

$$T_p \approx 0,4T_{пл} \quad (I)$$

Данная формула не учитывает влияния степени деформации на температуру рекристаллизации.

Связь между величиной зерна, степенью деформации и температурой рекристаллизации изображается объемными диаграммами,

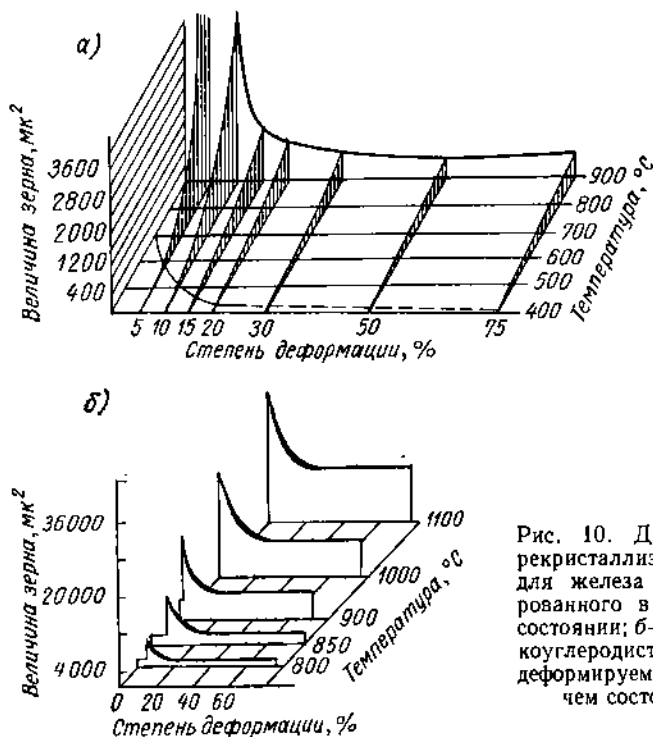


Рис. 10. Диаграммы рекристаллизации: а— для железа деформированного в холодном состоянии; б— для низкоуглеродистой стали, деформируемой в горячем состоянии

получаемыми экспериментальным путем для каждого металла или сплава. Диаграмма рекристаллизации дает возможность проследить за изменением структуры сплава при данных условиях обработки давлением и выбрать как температуру, так и степень деформации, обеспечивающие получение желаемой величины зерна.

На рис. 10, а приведена диаграмма рекристаллизации железа, деформированного в холодном состоянии. Диаграмма показывает, что с увеличением степени деформации величина зерна уменьшается, а температура рекристаллизации понижается; с повышением температуры рекристаллизации при данной степени деформации зерно растет. При больших степенях деформации температура рекристаллизации не оказывает заметного влияния на рост зерна.

Диаграммы рекристаллизации для других металлов и сплавов имеют аналогичный характер.

Температура рекристаллизации дает возможность установить границы температуры горячей и холодной обработки металлов давлением. Если обработка давлением происходит при температурах ниже температуры рекристаллизации и сопровождается наклепом, то такая обработка называется холодной. Если обработка давлением происходит при температуре выше температуры рекристаллизации и не сопровождается наклепом, то она называется горячей.

Горячая деформация

Горячая обработка давлением обычно производится при температурах, значительно превышающих температуру рекристаллизации. Поэтому при горячей обработке металлов давлением (прокатка, прессование, ковка, штамповка и др.) одновременно происходят два взаимно противоположных процесса: деформация, сопровождающаяся наклепом (упрочнением), и рекристаллизация, сопровождающаяся разупрочнением (снятием наклепа).

Для получения надлежащей структуры, а соответственно и механических свойств металла после горячей деформации скорость рекристаллизации должна быть значительно больше скорости деформации, т. е. должен быть обеспечен соответствующий термо-механический режим горячей обработки давлением. Для установления режима, обеспечивающего получение заданной величины зерна, пользуются диаграммами рекристаллизации, подобными изображенной на рис. 10, б.

§ 3. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ДЕФОРМИРОВАНИЮ

Основными факторами, оказывающими весьма существенное влияние на пластичность и сопротивление металла деформированию, являются химический состав, температура металла, скорость деформации, схема напряженно-деформированного состояния, контактное трение и т. п.

Влияние химического состава

Наибольшей пластичностью обладают чистые металлы и сплавы, образующие твердые растворы, наименее пластичными свойствами обладают сплавы, образующие химические соединения и механические смеси. Обработке давлением подвергаются как черные, так и цветные сплавы. Из черных сплавов давлением обрабатываются углеродистые и легированные (конструкционные и инструментальные) стали, из цветных — бронзы, латуни, алюминий, дуралюмин и др.

Наибольшее количество деталей изготавливается обработкой давлением из стали. В связи с этим рассмотрим влияние некоторых примесей на пластичность стали и ее сопротивление деформированию.

Углерод является основной примесью, оказывающей влияние на свойства стали. С увеличением содержания углерода в стали пластичность падает, а сопротивление деформированию возрастает. Стали с содержанием углерода до 0,5% обладают хорошей пластичностью, поэтому обработка давлением таких сталей не вызывает затруднений. Однако обработка давлением стали, содержащей более 1% углерода, представляет большие трудности. *Кремний* и *марганец* в тех пределах, в которых они содержатся в обычных сталях (0,17—0,35% и 0,3—0,8% соответственно), не оказывают заметного влияния на пластичность стали. Дальнейшее увеличение содержания кремния и марганца в стали понижает ее пластические свойства, повышая сопротивление деформированию.

Сера находится в стали в виде химических соединений FeS или MnS. Она вызывает к р а с н о л о м к о с т ь стали. Явление красноломкости связано с образованием эвтектики $\text{FeS} + \text{Fe}$ по границам зерен, которая плавится при температуре¹ 985°. При нагреве стали до температур 1000—1200° под ковку, прокатку эвтектика расплавляется, нарушается сплошность границ зерен и при деформации в этих местах образуются трещины. При наличии в стали MnS интервал красноломкости сдвигается в область более высоких температур (1200°). В связи с этим содержание серы в стали (в виде соединения FeS) должно быть минимальным (0,03—0,05%).

Фосфор в стали присутствует в твердом растворе (феррите). Он вызывает х л а д н о л о м к о с т ь стали. Повышение содержания фосфора в стали увеличивает сопротивляемость пластической деформации, а следовательно, затрудняет проведение обработки давлением. Поэтому содержание фосфора в стали должно быть не более 0,03—0,04%.

Легировующие элементы (хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий и др.) понижают пластичность и повышают сопротивление деформированию, причем тем сильнее, чем больше углерода в стали.

Влияние температуры

Температура оказывает существенное влияние на механические свойства металлов и сплавов. На рис. 11 приведены кривые изменения характеристик прочности и пластичности в зависимости от температуры для углеродистой стали двух марок. Как видно из графика, увеличение температуры примерно до 100° вызывает некоторое повышение пластичности (δ) и уменьшение характери-

¹ Здесь и далее температура дана в градусах Цельсия (°C).

стик прочности (σ_b и σ_T). При дальнейшем повышении температуры примерно до 300° наблюдается значительное увеличение характеристик прочности и понижение характеристик пластичности. Это явление получило название синеломкости (от цвета побежалости). Предполагают, что хрупкость, наблюдаемая при этих температурах, вызвана выделением дисперсных частиц карбидов, нитридов и др. по плоскостям скольжения. Дальнейшее повышение температуры вызывает интенсивное понижение характеристик прочности. И при температурах около 1000° предел прочности σ_b понижается более чем в 10 раз. Что касается показателей пластичности (δ и др.), то они в интервале 800—900° понижаются из-за протекания в стали фазовых превращений и неполного процесса рекристаллизации; при дальнейшем повышении температуры можно наблюдать их интенсивное увеличение.

Таким образом, опасными зонами температур в отношении понижения пластичности являются зона синеломкости и зоны, в которых происходят неполная рекристаллизация и фазовые превращения. Такая закономерность наблюдается и для других металлов и сплавов.

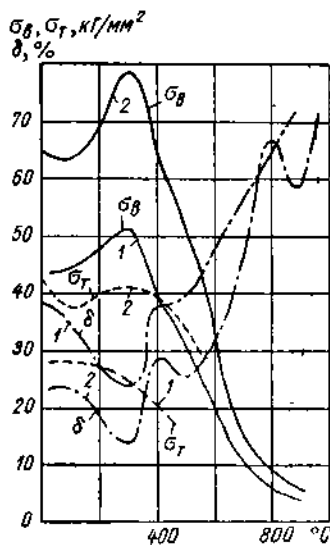


Рис. 11. Изменение механических свойств углеродистой стали в зависимости от температуры (по М. В. Сторожеву и Е. А. Попову):

1 — C = 0,14%; 2 — C = 0,42%

Влияние скорости деформации

При деформировании металлов следует различать две скорости: скорость деформирования, представляющую собой скорость перемещения рабочего органа машины (бабы молота, ползуна прессы и т. п.), и скорость деформации, представляющую собой изменение степени деформации ϵ в единицу времени t .

Скорость деформации w выражается формулой

$$w = \frac{d\epsilon}{dt}. \quad (2)$$

При постоянной скорости, а также для средней скорости

$$w_{cp} = \frac{\epsilon}{t}. \quad (3)$$

При обработке давлением на прессах скорость деформирования составляет примерно 0,1—0,5 м/сек, а скорость деформации

1—5 1/сек. При обработке давлением на молотах скорость деформирования в момент удара достигает 5—10 м/сек; при этом весь процесс деформации за один удар длится сотые доли секунды, скорость деформации может достичь 200—250 1/сек. При деформировании металлов взрывом имеют место еще более высокие скорости, измеряющиеся сотнями метров в секунду.

В первом приближении можно сказать, что с увеличением скорости деформации сопротивление металла деформированию возрастает, а пластичность падает. Особенно резко падает пластичность некоторых магниевых и медных сплавов, а также высоколегированной стали, что объясняется малыми скоростями рекристаллизации. Менее чувствительны к скорости деформации алюминиевые сплавы, низколегированные и углеродистые конструкционные стали [50].

Скорость деформации при горячей обработке давлением оказывает большее влияние на металл, чем при холодной. Однако при детальном изучении влияния скорости деформации на указанные характеристики это явление носит более сложный характер. Дело в том, что при деформации имеет место тепловой эффект, который при разных скоростях и условиях деформации может быть различным. В некоторых случаях деформации в металле может происходить значительное местное повышение температуры (до 200—300°), что незамедлительно сказывается на пластичности и сопротивлении его деформированию. Если деформация производится при температурах, близких к максимальным для данного металла, пластичность может значительно снизиться, а сопротивление деформированию возрасти. Если же деформация происходит при температурах, близких к минимальным, то наоборот, вследствие теплового эффекта пластичность металла повысится, а сопротивление деформированию снизится.

Таким образом, нельзя рассматривать изолированно влияние скорости деформации и температуры на механические характеристики металла, так как скорость и температура при обработке давлением тесно связаны друг с другом. Вследствие этой связи всегда принято говорить о температурно-скоростных условиях деформации, т. е. о так называемом термо-механическом режиме обработки давлением.

Схема напряженного состояния металла может влиять на пластичность в сторону ее повышения или понижения (см. § 5 этой главы).

Влияние контактного трения

Контактное трение представляет собой трение, возникающее на поверхности соприкосновения деформирующего инструмента с металлом.

Появление при обработке давлением значительных сил трения на контактных поверхностях резко изменяет схему напряженного

состояния и тем самым оказывает существенное влияние на пластичность металла и его сопротивление деформированию. Например, если при осадке цилиндра под плоскими бойками отсутствует контактное трение, то возникает линейная схема напряжений; при наличии же трения имеет место объемная схема напряжений.

Контактное трение зависит от ряда факторов, к числу которых относятся: состояние поверхности деформирующего инструмента и деформируемого сплава, химический состав сплава, смазка, температура металла и инструмента и скорость деформации.

Коэффициент трения при обработке давлением может быть от 0,1 до 0,5. Для снижения коэффициента трения и облегчения условий деформации применяются различные смазки и инструмент с полированной поверхностью. Отметим, что при прокатке трение является полезным фактором, поэтому там, наоборот, создаются условия для повышения коэффициента трения (см. гл. III).

Температурный интервал горячей обработки металлов давлением

Для горячей обработки давлением металл нагревается до определенной температуры и деформируется до тех пор, пока температура его не снизится до такой, при которой дальнейшая деформация окажется невозможной. Таким образом, металл может быть деформирован в строго определенном температурном интервале. Максимальная температура его называется верхним пределом, а минимальная — нижним. Каждый металл имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением.

Верхний предел температурного интервала $t_{в.н}$ выбирается таким образом, чтобы не было пережога, интенсивного окисления и обезуглероживания, а также перегрева. При выборе верхнего предела температурного интервала для высокоуглеродистых и легированных сталей необходимо иметь в виду их большую склонность к перегреву. Температура нижнего предела $t_{н.н}$ должна быть такой, чтобы после деформирования при этой температуре металл не получил упрочнения (наклепа) и имел бы требуемую величину зерна. Особое значение выбор нижнего предела имеет для легированных сталей и сплавов, не имеющих фазовых и аллотропических превращений, например для аустенитных и ферритных сталей. Конечные свойства этих сталей определяются в основном нижним пределом температурного интервала (поскольку они не подвергаются термической обработке).

Практически верхний предел $t_{в.н}$ для углеродистых сталей расположен на 100—200° ниже линии солидуса AE (рис. 12). Для доэвтектоидных углеродистых сталей оптимальной температурой концаковки является $A_3 + (25 \div 50^\circ)$.

Для низкоуглеродистых сталей (до 0,3% С) окончание обработки давлением в интервале температур $A_3 - A_1$ является

вполне допустимым (рис. 12, штриховая линия). При этом конечный размер зерен мельче, чем при окончании процесса выше A_3 .

Для заэвтектоидной стали обработка давлением заканчивается в интервале температур $A_{cm}—A_1$. При окончании обработки в этом интервале температур цементит, выделившийся ниже линии SE ,

имеет форму мелких раздробленных включений. Это улучшает служебные свойства заэвтектоидной стали, в частности повышаются режущие свойства инструмента. С повышением содержания углерода пластичность стали снижается. Поэтому при сравнительно низких температурах, близких к A_1 , обработку давлением высокоуглеродистых сталей можно заканчивать только в том случае, если схема напряженного состояния обеспечивает металлу высокую пластичность (например, штамповка в закрытых штампах и т. п.). Если схема всестороннего неравномерного сжатия выражена менее резко, как, например, при ковке на плоских бойках, то с увеличением содержания углерода в заэвтектоидной стали нижний предел температурного интервалаковки должен быть несколько

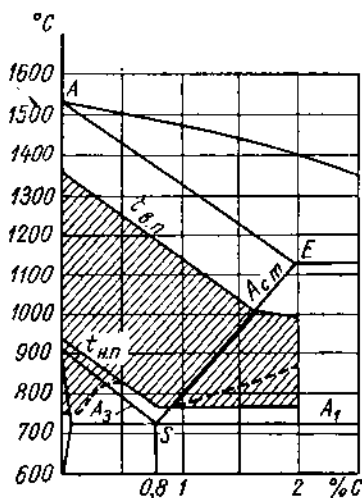


Рис. 12. Участок диаграммы железо — цементит с температурным интервалом горячей обработки давлением

повышен (рис. 12, штриховая линия). На рис. 12 температурный интервал нанесен в виде заштрихованной области. Из данного рисунка видно, что с повышением содержания углерода в стали температура пределов снижается, а температурный интервал сужается.

§ 4. НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Закон постоянства объема

Пластическая деформация металла сопровождается весьма незначительным изменением его объема, составляющим для литого металла всего 1—2%. Практически этим изменением объема можно пренебречь и считать, что объем металла до деформации равен объему металла после деформации. *Неизменность объема металла до и после деформации* носит название закона постоянства объема. Из закона постоянства объема вытекает важное следствие.

Предположим, что прямоугольный параллелепипед, ребра которого до деформации соответственно равны X_n , Y_n , Z_n и совпа-

дают с направлением осей координат, подвергается сжатию по оси y . После деформации параллелепипед остался прямоугольным, но размеры его ребер изменились и стали X_κ , Y_κ , Z_κ (здесь κ — начальный, κ — конечный).

По закону постоянства объема произведения трех измерений параллелепипеда до и после деформации должны быть равны, т. е.

$$X_n Y_\kappa Z_n = X_\kappa Y_\kappa Z_\kappa, \quad (4)$$

или

$$\frac{X_\kappa}{X_n} \cdot \frac{Y_\kappa}{Y_n} \cdot \frac{Z_\kappa}{Z_n} = 1. \quad (5)$$

Логарифмируя обе части уравнения (5) и пользуясь для удобства натуральными логарифмами, получаем

$$\ln \frac{X_\kappa}{X_n} + \ln \frac{Y_\kappa}{Y_n} + \ln \frac{Z_\kappa}{Z_n} = 0. \quad (6)$$

Величина $\ln \frac{X_\kappa}{X_n}$ носит название логарифмической, или истинной степени деформации в направлении x ; соответственно и два других слагаемых в выражении (6) представляют истинные степени деформации в направлениях y и z . В уравнении (6) и далее деформацию следует считать положительной при увеличении размера (растяжение) и отрицательной при уменьшении размера (сжатие). Деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям в теории сопротивления материалов называются **компонентами деформации**.

Таким образом, обозначив компоненты деформации по трем направлениям через e_1 , e_2 , e_3 , можно записать, что

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0, \quad (7)$$

т. е. алгебраическая сумма истинных степеней деформации или компонент деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям равна нулю. Следовательно, если одна из компонент деформации имеет знак положительный, что соответствует растяжению, то две других компоненты будут иметь отрицательный знак, что соответствует сжатию.

В обработке металлов давлением широко используют линейные относительные степени деформации, выражаемые отношением приращения линейного размера, полученного в результате деформации, к исходному. Например, для вышеизложенного случая деформирования параллелепипеда относительная степень деформации в направлении x (если линейный размер в направлении x после деформации увеличился) с учетом знака выразится

$$u_1 = \frac{X_\kappa - X_n}{X_n} \cdot 100\%; \quad (8)$$

в направлении y

$$u_2 = \frac{Y_{\kappa} - Y_{\pi}}{Y_{\pi}} \cdot 100\%; \quad (9)$$

в направлении z

$$u_3 = - \frac{Z_{\kappa} - Z_{\pi}}{Z_{\pi}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

При значениях относительных деформаций менее 10% (последние с погрешностью, не превышающей 5%) становятся равными логарифмическим. Таким образом, при малых деформациях, заменяя обозначения линейных относительных деформаций u на ε , получим равенство

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0, \quad (11)$$

которое выражает закон постоянства объема. Закон постоянства объема и его следствие имеют огромное практическое и теоретическое значение, так как на основании неизменности объема построены все расчеты заготовок, а также расчеты технологических переходов формообразования при обработке металлов давлением.

Закон подобия

При обработке металлов давлением для приближенного определения усилия деформирования и затрачиваемой работы на деформацию используют принцип моделирования, в основу которого положен закон подобия. Закон подобия формулируется следующим образом: *при осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затрачиваемых работ — кубу отношений соответствующих линейных размеров.* Для геометрически подобных тел, как, например, для тел, изображенных на рис. 13, должны соблюдаться соотношения

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{b_1}{b_2} = a, \quad (12)$$

где a — масштаб моделирования.

При соблюдении отношения (12) закон подобия запишется

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{b_1 l_1}{b_2 l_2} = \frac{F_1}{F_2} = a^2, \quad (13)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{b_1 l_1 h_1}{b_2 l_2 h_2} = \frac{V_1}{V_2} = a^3. \quad (14)$$

Из этих соотношений видно, что отношения соответствующих площадей (поверхностей) геометрически подобных тел равны квадрату масштаба моделирования, а отношение объемов — кубу масштаба. Таким образом, зная усилие и работу деформации, затрачиваемые на деформирование одного тела (модели), и масштаб моделирования, можно вычислить усилие и работу деформации,

затрачиваемые на деформирование другого тела (натуры). Однако вследствие того, что пластическая деформация, в особенности горячая, представляет собой очень сложный процесс, точное моделирование практически почти невозможно из-за трудности создания теплового подобия модели и натуры, трудности соблюдения скоростных условий деформирования (скорости должны быть различными), трудности соблюдения равенства коэффициентов трения на контактных поверхностях тел, из-за физической и химической

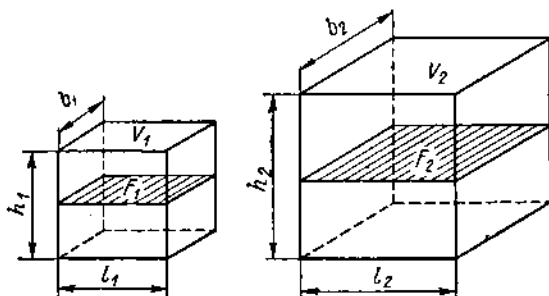


Рис. 13. Схема к пояснению закона подобия

неоднородности тел и т. п. Практикой, например, установлено, что с увеличением размеров геометрически подобных тел, деформируемых при одинаковых усилиях, усилие деформирования снижается. Снижение усилия объясняется главным образом различными условиями теплообмена тел разных размеров с окружающей средой (воздухом и инструментом). Подобие трения и физическое подобие (одинаковая микро- и макроструктура, фазовое состояние и др.) не могут быть достигнуты одинаковыми скоростными условиями. В связи с изложенными препятствиями к точному моделированию в закон подобия вводятся экспериментальные поправочные коэффициенты, и прежде всего коэффициенты, учитывающие так называемые масштабные и скоростные факторы. Коэффициент, учитывающий масштабный фактор, обычно меньше единицы и уменьшается с увеличением размеров, а скоростной, как известно, с возрастанием скорости деформирования возрастает.

Закон наименьшего сопротивления или наименьшего периметра

Этот закон применительно к обработке давлением, сформулированный С. И. Губкиным [9], гласит следующим образом: *«В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления»*. Пользуясь законом наименьшего сопротивления, можно определить, какие размеры и форму поперечного сечения примет заготовка квадратного, прямоугольного или какого-либо другого сечения в процессе пластического формообразования.

Предположим, что свободной осадке подвергается заготовка квадратного сечения (рис. 14, а). В плоскости поперечного сечения осаживаемой заготовки проведем биссектрисы углов, в данном случае являющиеся одновременно диагоналями. Очевидно, что каждая частица данного участка сечения будет перемещаться по перпендикуляру к стороне периметра, как указано на рис. 14, а стрелками. Также очевидно, что поток перемещающихся частиц

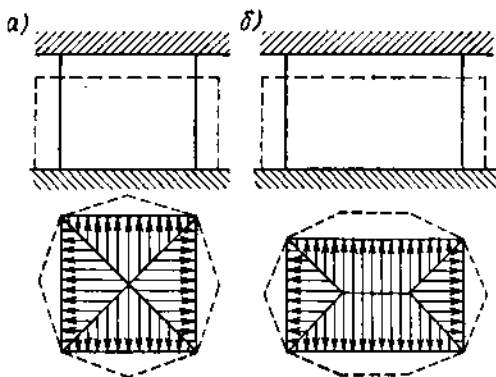


Рис. 14. Сечение квадратного и прямоугольного образцов до (сплошная линия) и после осадки (штриховая линия)

ее сечение будет стремиться к эллипсу (рис. 14, б). При осадке цилиндрической заготовки ее сечение будет оставаться круглым. Искажение формы поперечного сечения деформируемых заготовок связано с наличием контактного трения.

Закон наименьшего сопротивления справедлив только лишь при больших значениях коэффициента трения, если же он мал, то частицы в горизонтальных поперечных сечениях будут перемещаться не по нормали к периметру, а по лучам, проведенным из центра симметрии сечения.

Закон наименьшего сопротивления имеет большое значение при всех технологических процессах обработки давлением. Он позволяет наиболее рационально подбирать форму поперечного сечения заготовок для конкретных случаев пластического деформирования. На основании закона наименьшего периметра возможно применение заготовок квадратного сечения при штамповке поковок осадкой, имеющих в плане круглое сечение.

§ 5. НАПРЯЖЕННОЕ И ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА

Напряженное состояние металла

Для определения усилий при различных видах обработки металлов давлением необходимо знать напряженное состояние металла, т. е. уметь находить напряжение, возникающее в каждой

точке деформируемого тела, в зависимости от действия внешних сил. Помимо того, характер напряженного состояния сильно влияет и на пластичность металла.

Напряженное состояние тела в самом общем случае может быть полностью определено тремя нормальными и шестью касательными напряжениями, т. е. девятью компонентами напряжений. Если в теле, подверженном действию внешних сил, выделить элементарный параллелепипед, то на гранях этого параллелепипеда, перпендикулярных осям X , Y и Z (рис. 15), появляются нормальные напряжения (σ_x , σ_y и σ_z) и касательные напряжения (по две составляющих напряжения), расположенные в плоскости самих граней (τ_{yx} , τ_{zx} , τ_{xy} , τ_{zy} , τ_{xz} , τ_{yz}).

В условиях равновесия элементарного параллелепипеда имеется попарное равенство составляющих касательных напряжений, т. е.

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{xz} = \tau_{zx} \text{ и } \tau_{yz} = \tau_{zy}.$$

Отсюда следует, что напряженное состояние любой точки деформируемого тела может быть определено шестью компонентами: тремя нормальными σ_x , σ_y , σ_z и тремя касательными напряжениями τ_{yx} , τ_{zy} и τ_{xz} .

Однако если оси координат выбрать таким образом, чтобы на площадках, перпендикулярных этим осям, действовали только нормальные напряжения, а касательные напряжения были равны нулю, напряженное состояние может быть установлено, если известны лишь нормальные составляющие напряжения. Такие напряжения называют **главными** и их обозначают соответственно через σ_1 , σ_2 и σ_3 . При этом σ_1 означает наибольшее по алгебраической величине напряжение, σ_3 — наименьшее и σ_2 — среднее. При решении практических задач одну из главных осей обычно совмещают с направлением действия силы.

Напряженное состояние тела может быть линейным, плоским и объемным. При линейном напряженном состоянии два главных напряжения равны нулю, при плоском одно из главных напряжений равно нулю, а при объемном все три главных напряжения отличны от нуля.

В соответствии с этими тремя видами напряженного состояния имеется девять схем главных напряжений (рис. 16, а, б, в): две линейные (а), три плоские (б) и четыре объемные (в).

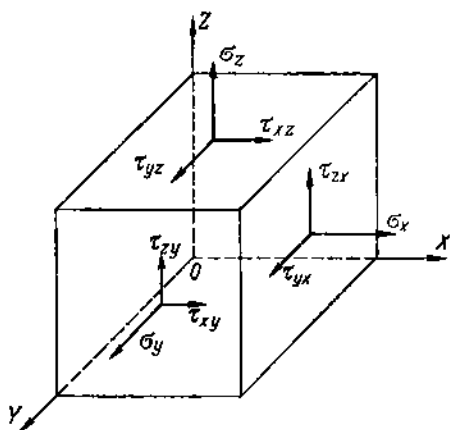


Рис. 15. Нормальные и касательные напряжения на гранях элементарного параллелепипеда

Линейные схемы растяжения и сжатия (ввиду наличия контактного трения на торцах заготовки) при обработке давлением не встречаются. Плоское напряженное состояние имеет место при некоторых процессах листовой штамповки — гибке, отбортовке и др.

В большинстве случаев при обработке давлением металл находится в объемном напряженном состоянии. При этом усилия и напряжения, действующие по различным направлениям, могут быть как равными ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ — равномерное напряженное состояние), так и неравными между собой ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ — неравномерное напряженное состояние).

Объемные и плоские схемы, имеющие напряжения одного знака, называются одинаковыми схемами, а схемы, имеющие напряжения разных знаков, — различными.

Первая объемная схема (рис. 16, а) показывает наличие всестороннего растяжения, вторая — наличие всестороннего сжатия, третья и четвертая — наличие совместного растяжения и сжатия.

Рис. 16. Схемы напряженно-деформированного состояния

При всестороннем равномерном растяжении (схема 1, рис. 16, а) пластическая деформация невозможна, так как происходит хрупкое разрушение. При всестороннем равномерном сжатии (схема 2) пластическая деформация не произойдет ввиду невозможности сдвигов, так как сдвигающее напряжение здесь равно нулю. При равномерном и неравномерном всестороннем совместном сжатии и растяжении (схемы 3 и 4) пластическая деформация возможна, причем схема 4 является более благоприятной с точки зрения меньшей возможности появления хрупкого разрушения металла.

Большинство процессов обработки металлов давлением — прокатка, прессование, ковка и объемная штамповка — протекают в условиях всестороннего неравномерного сжатия (схема 2).

При обычной прокатке (рис. 17, а) имеются условия, при которых $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ (по абсолютной величине), при волочении $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ (рис. 17, б), при прессовании $\sigma_2 = \sigma_3$, $\sigma_1 < \sigma_2$ (рис. 17, в); при свободной ковке — осадке цилиндрических образцов

$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ (рис. 17, а) и т. д. На рисунке P — сила сжатия, $T_{тр}$ — сила трения.

Более благоприятное протекание процессов обработки металлов давлением в условиях всестороннего неравномерного сжатия объясняется тем, что сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкусталлитных связей и способствуют развитию внутри-

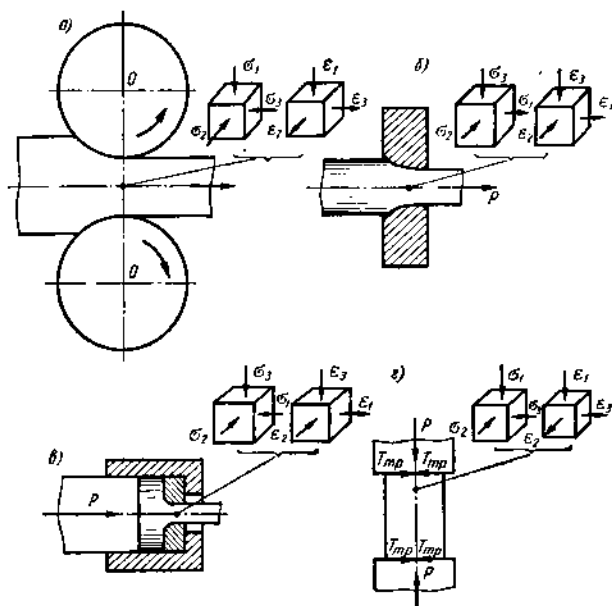


Рис. 17. Схемы напряженно-деформированного состояния при различных видах обработки металлов давлением

кристаллических сдвигов. Один и тот же металл в одних условиях может оказаться пластичным, в других — хрупким. Изменяя напряженное состояние деформируемого тела при деформации, можно изменять и пластичность его в широких пределах.

Таким образом, можно установить, что созданием благоприятной схемы напряженного состояния, а также подбором температуры и скорости деформации можно создать условия, при которых станет возможной пластическая деформация даже хрупких металлов.

Деформированное состояние металла

Соответственно схемам главных напряжений существуют схемы главных деформаций $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$. Деформациям, характеризующим увеличение первоначального размера (удлинение), приписывают знак плюс, а укорочение (сжатия) — знак минус. Деформированное состояние в какой-либо точке тела характеризуется тремя главными деформациями и тремя направлениями главных осей

деформаций. Согласно условию постоянства объема (объем металла при обработке давлением не изменяется), одна из трех главных действительных деформаций равна сумме двух других и противоположна им по знаку (§ 4). На основании этого положения имеются всего только три схемы главных деформаций (рис. 16, *г*). Из этих трех схем одна объемная с двумя деформациями сжатия, другая — объемная с двумя деформациями растяжения, третья — плоская с деформациями сжатия и растяжения.

Вид схемы главных деформаций так же, как и характер напряженного состояния, оказывает влияние на пластичность. Наилучшие условия для проявления пластических свойств создает объемная схема деформированного состояния с двумя деформациями сжатия, наихудшие условия — объемная схема с двумя деформациями растяжения.

Следует обратить внимание на то, что в ряде случаев направление (знак \pm) главных напряжений совпадает со знаком главных деформаций (считая, что главные оси деформации и напряжения являются совпадающими), как, например, при волочении (рис. 17, *б*), в других — направление (знак \pm) главных деформаций не совпадает со знаком (\pm) главных напряжений (прокатка, пресование, ковка и объемная штамповка — рис. 17, *а, в, г*). Так как схема главных деформаций оказывает влияние на пластические свойства металла, то соответственно она оказывает влияние и на расход энергии при деформации.

Теории предельного состояния

Существует два предельных состояния тела (металла), одно из которых определяет начало пластической деформации, другое — начало разрушения. Для осуществления пластической деформации необходимо знать, при каких условиях наступает переход металла из упругого состояния в пластическое при различных схемах напряженного состояния.

Из имеющихся теорий по определению условий пластичности наибольшее распространение получили теории (условия) максимальных касательных напряжений и энергетическая.

Теория максимальных касательных (скалывающих) напряжений носит также название условия постоянства главного касательного напряжения или условия постоянства разности главных напряжений. Согласно этой теории (Треска и Сен-Венана) пластическое состояние тела наступает тогда, когда одно из главных касательных напряжений достигает половины предела текучести металла в момент деформации или если одна из разностей двух главных нормальных напряжений равна пределу текучести металла независимо от значения двух других разностей главных напряжений, т. е.

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_s}{2}$$

или

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s. \quad (15)$$

Здесь $\sigma_s = S(\sigma_d)$ истинное напряжение текучести при линейном напряженном состоянии с учетом упрочнения металла (при деформации в холостом состоянии) и температурно-скоростного фактора (при деформации в горячем состоянии).

Обычно учет влияния приведенных факторов производится соответствующими коэффициентами (наклеп металла коэффициентом n_k , температура — коэффициентом n_m и скорость деформации — коэффициентом n_v).

Тогда соотношение (15) можно написать так:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s = S(\sigma_d) = n_k n_m n_v \sigma_T, \quad (16)$$

где σ_T — предел текучести отожженного металла, определяемый в статических условиях, т. е. на обычных разрывных машинах.

В случае горячей деформации с полной рекристаллизацией (с полным разупрочнением) $\sigma_s = \sigma_T = \sigma_{sT}$ — временному сопротивлению разрыву при данной температуре.

Эта теория применима только для плоского напряженного состояния, так как в ней не учитывается влияние среднего по величине напряжения σ_2 .

Энергетическая теория — условие постоянства удельной энергии изменения формы. Согласно этой теории (Губера—Мизеса—Генки) предполагается, что для перехода металла в пластическое состояние необходимо накопить в единице объема вещества некоторое постоянное количество потенциальной энергии независимо от схемы напряженного состояния.

Удельная потенциальная энергия изменения формы A_ϕ представляет собой разность между удельной потенциальной энергией деформации (полной) A_{def} и удельной потенциальной энергией упругого изменения объема тела A_o , т. е.

$$A_\phi = A_{def} - A_o.$$

После ряда подстановок и преобразований соответствующих зависимостей из теории упругости находим, что удельная потенциальная энергия, накопленная в металле в момент перехода его в пластическое состояние в условиях объемного напряженного состояния

$$A_\phi = \frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2], \quad (17)$$

где μ — коэффициент Пуассона;

E — модуль упругости.

При переходе металла в пластическое состояние в условиях линейного напряженного состояния его удельная потенциальная энергия упругой деформации формы $A_{\phi A}$ будет составлять

$$A_{\phi A} = \frac{1+\mu}{3E} \sigma_s^2. \quad (18)$$

Приравнявая $A_\phi = A_{\phi_s}$ и имея в виду, что удельная потенциальная энергия не зависит от схемы напряженного состояния, получим условия пластичности

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$$

или

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_s. \quad (19)$$

Уравнение (19) также показывает, что при пластическом состоянии интенсивность напряжений σ_i равна напряжению текучести σ_s . При этом энергетическая теория — условие пластичности — учитывает влияние и среднего главного напряжения σ_2 , которое находится в пределах $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ или $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$. При этом следует учитывать не только их абсолютную величину, но и знаки напряжений, т. е. рассматривать алгебраическую величину напряжений.

Рассмотрим три частных случая, когда: $\sigma_2 = \sigma_1$; $\sigma_2 = \sigma_3$ и $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$.

При $\sigma_2 = \sigma_1$ или $\sigma_2 = \sigma_3$ уравнение (19) приобретает вид уравнения (16), т. е. $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s$. Следовательно, в этих случаях условие пластичности по теории наибольших касательных напряжений совпадает с условием пластичности по энергетической теории (является его частным случаем).

При среднем значении $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ уравнение (19) будет иметь такой вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s = 1,15\sigma_s = \beta\sigma_s = \beta\sigma_\partial. \quad (20)$$

Это уравнение является более простым выражением условия пластичности по энергетической теории, которым с некоторым приближением пользуются также для случаев объемного напряженного состояния.

Сравнивая уравнения (19) и (20), можно заметить, что в зависимости от значений среднего по величине главного напряжения σ_2 коэффициент β изменяется в пределах от 1 до 1,15. Максимальное значение коэффициента $\beta = 1,15$ соответствует двумерной деформации — плоскому деформированному состоянию, когда деформация по оси напряжения σ_2 отсутствует.

Отметим также, что при чистом сдвиге пластическая деформация происходит в том случае, если касательное напряжение

$$\tau = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} = \frac{\sigma_\partial}{\sqrt{3}} = k = 0,575\sigma_s = 0,575\sigma_\partial.$$

или, что то же самое,

$$2\tau = \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} = \frac{2\sigma_d}{\sqrt{3}} = 2k = 1,15\sigma_s = 1,15\sigma_d. \quad (21)$$

Последним выражением в частности пользуются при определении удельного давления при прокатке (§ 9).

При пластическом деформировании имеется связь между напряжениями и деформациями, которая может быть установлена из зависимости

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_3} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1} = 2G'. \quad (22)$$

Здесь $2G'$ — коэффициент пропорциональности, где G' представляет собой модуль деформации (модуль пластичности) второго рода (величина переменная), равный одной трети модуля деформации первого рода E' , т. е. $G' = 1/3 E'$.

Используя уравнение (22), в силу пропорциональности разности главных напряжений разностям главных деформаций можно установить вид напряженного состояния из соотношения

$$\nu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (23)$$

равное

$$\nu_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}.$$

При простом растяжении, когда действует только один компонент напряжений σ_1 ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$), получаем $\nu_\sigma = -1$. При простом сжатии, когда действует компонент напряжений σ_3 ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$) $\nu_\sigma = +1$. При чистом сдвиге, когда $\sigma_3 = -\sigma_1$, а $\sigma_2 = 0$, $\nu_\sigma = 0$. Аналогично характеристике σ_i [уравнение (19)] существует и характеристика деформации ε_i , определяемая из зависимости

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (24)$$

которая называется интенсивностью деформаций или обобщенной деформацией.

При линейном растяжении, когда $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\frac{1}{2} \varepsilon_1$, интенсивность деформаций $\varepsilon_i = \varepsilon_1$, т. е. относительному удлинению в направлении действующего усилия.

Вышеприведенные уравнения (условия) пластичности (16, 19, 20, 21), а также формулы для деформаций (22, 23, 24) в зависимости от условий работы используют при решении практических задач в области обработки металлов давлением.

Общая методика решения подобных задач заключается в следующем. В очаге деформации обрабатываемого изделия выделяется

бесконечно малый элемент и рассматриваются условия его равновесия, для чего сумма проекций всех сил на какую-либо ось или несколько координатных осей приравнивается нулю. При составлении этого условия равновесия часто получается, что число уравнений меньше числа неизвестных. Для их решения дополнительно используется уравнение пластичности, устанавливающее связь между главными напряжениями и пределом текучести согласно вышеприведенным зависимостям. Далее определяется (если нет в наличии) обобщенная кривая зависимости (упрочнения) $\sigma_i = f(\epsilon_i)$.

Совместное решение уравнений и использование кривой упрочнения позволяют найти сопротивление деформации (напряжения, возникающие в пластически деформируемом объеме металла) или удельное давление (напряжения, возникающие на поверхности деформируемого металла при его соприкосновении с поверхностью инструмента), а следовательно, и полное усилие, потребное для этой деформации. По усилию подбирают машину для обработки давлением — кривошипный или гидравлический пресс. Помимо того, зная напряжения, возникающие при деформации металла, можно рассчитать на прочность и деформирующий инструмент — штамп, волоку и др.

В заключение отметим, что, помимо указанного метода совместного решения уравнений равновесия и пластичности, подробно разработанного советскими учеными С. И. Губкиным [9; 10], И. М. Павловым [35], Г. А. Смирновым-Аляевым [47; 48], Е. П. Уиксовым [54], В. С. Смирновым [46], Е. А. Поповым [10; 50], М. В. Сторожевым [50], И. А. Норицыным [10] и др., в настоящее время все шире стали пользоваться методом линий скольжения (методом характеристик), подробно изложенным в трудах А. Д. Томленова [53], Л. А. Шофмана [63] и др. Согласно этому методу, удельное давление определяют по ортогональной сетке линий скольжения (линий Чернова). Эта сетка состоит из двух систем (семейств) линий, касательные к которым совпадают с направлением главных касательных напряжений. Сетку можно получить экспериментально (путем травления полированной поверхности) или построить на основании данных, полученных теоретическим путем. Используя сетку скольжения, можно определить среднее напряжение в любой точке, лежащей на определенной линии скольжения, по известному среднему напряжению [25; 53].

НАГРЕВ МЕТАЛЛА И НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

§ 6. НАГРЕВ МЕТАЛЛА

Значение нагрева металла

Нагрев металла для обработки давлением производится главным образом с целью повышения его пластичности и уменьшения сопротивления деформированию. Нагрев является одной из важнейших операций обработки металлов давлением, от которой в большой степени зависит точность размеров изделий, их качество, правильное использование оборудования, инструмента и др. Нагрев должен обеспечить равномерную температуру по сечению заготовки, ее минимальное окисление и обезуглероживание. Практикой установлено, что интенсификация нагрева снижает окалинаобразование, за счет чего повышается точность изделий и возрастает стойкость инструмента (прокатных валков, бойков, штампов и т. п.). Можно утверждать, что в настоящее время культура цехов горячей обработки давлением в большой мере определяется применяющимся способом нагрева. Современные прогрессивные способы нагрева коренным образом меняют облик горячих цехов, приближая условия труда в них к условиям работы в механических цехах. Таким образом, выбор правильного способа и режима нагрева металла представляет большую и важную техническую задачу.

Способы нагрева металла

Способ нагрева определяется характером передачи тепла металлу. Если тепло передается металлу за счет соприкосновения его поверхности с какой-либо средой (газообразной, жидкой или твердой), нагретой до более высокой температуры, то такой способ нагрева является **косвенным**.

Если тепло аккумулируется непосредственно в самом металле (в поверхностном слое или во всем сечении), а температура окружающей среды остается ниже температуры металла, то такой способ нагрева называется **прямым**. Например, нагрев металла в печах, расплавленных солях, а также в электролите является косвенным нагревом; нагрев металла, происходящий при пропускании через него электрического тока (контактный, индукционный), является **прямым** нагревом.

Таким образом, все многообразие способов нагрева может быть сведено только к двум разновидностям, отличающимся по своему физическому существу. Передача тепла металлу при косвенном нагреве происходит за счет конвекции и излучения [24]. Количество тепла, передаваемое металлу излучением, в обычных печах составляет около 20% всего тепла, в печах скоростного нагрева — около 80%. Распространение тепла в металле от его поверхности внутрь происходит за счет теплопроводности.

Количество тепла, аккумулируемого в металле при прямом нагреве — электрическим током, может быть определено по закону Джоуля — Ленца

$$Q = 0,24 I^2 R t, \quad (25)$$

где Q — количество тепла в *кал (дж)*;

I — сила тока, протекаемого по металлу при данных условиях нагрева, в *а*;

R — электрическое сопротивление металла в *ом*;

t — время протекания тока в *сек*.

Скорость и время нагрева

Производительность нагревательного устройства зависит от скорости нагрева металла и при прочих равных условиях возрастает с увеличением скорости нагрева. Однако для качества металла безразлично, с какой скоростью производить нагрев. При медленном нагреве помимо снижения производительности может возникнуть брак металла из-за обезуглероживания, окисления. При быстром нагреве из-за чрезмерно большой разницы температуры между поверхностью и серединой заготовки могут появиться трещины.

Таким образом, существует максимальная скорость нагрева, при которой будет обеспечено высокое качество изделия при наименьших затратах; эту скорость называют *допустимой*. Скорость нагрева может быть выражена величиной, показывающей повышение температуры металла в единицу времени (*град/сек*, *град/мин*), или временем нагрева, приходящимся на каждую единицу толщины (*мин/см*, *сек/см*).

Скорость нагрева зависит от ряда факторов, главными из которых являются: перепад температур по сечению заготовки, форма и размер поперечного сечения заготовки, теплофизические свойства металла, способ нагрева.

Для выяснения влияния перепада температур на скорость нагрева рассмотрим графики (рис. 18), показывающие изменение температуры поверхности и центра одной и той же заготовки при нагреве ее до верхнего предела температурного интервала ($t_{\text{с.н}}$) с разной скоростью и последующим остыванием на воздухе.

Из графиков видно, что процесс нагрева может быть разбит на два периода. Первый характеризуется максимальным перепадом

температур по сечению заготовки Δt_{\max} ; второй — конечным перепадом температур Δt_{κ} , когда поверхность заготовки достигла температуры верхнего предела $t_{a.n.}$

Первый период является наиболее опасным с точки зрения образования трещин, так как в этот период получается максимальный перепад температур между поверхностью и центром заготовки Δt_{\max} (рис. 18, а и б, кривая 3). Перепад температур Δt_{\max} вызывает появление в заготовке тепловых напряжений, являющихся следствием различного теплового расширения наружных и центральных слоев заготовки. Поверхностные слои заготовки, как более нагретые, стремятся расшириться, увеличиться в объеме, чему

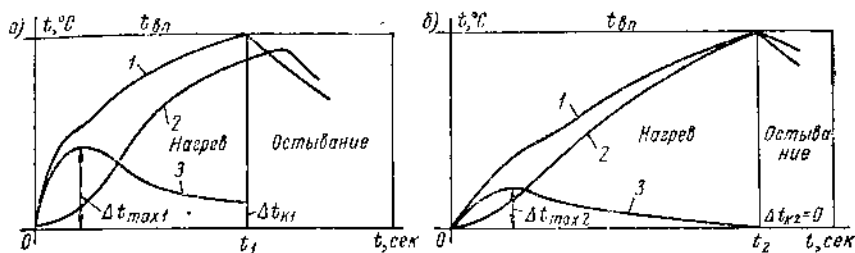


Рис. 18. Графики нагрева одной и той же заготовки с разной скоростью: а — при наличии перепада $\Delta t_{\kappa 1}$; б — при отсутствии перепада $\Delta t_{\kappa 2} = 0$

1 — температура поверхности; 2 — температура центра; 3 — разность температур между поверхностью и центром; t — время нагрева заготовки

препятствуют внутренние, более холодные слои. В результате этого в поверхностных слоях возникают сжимающие напряжения, а во внутренних — растягивающие. Величина этих напряжений тем больше, чем больше разность температур и чем ниже общая температура металла, при которой они возникли, т. е. чем меньше время, в течение которого кривая 3 достигла своего максимума (рис. 18, а и б). Если в нагреваемой заготовке имелись остаточные внутренние напряжения, то при быстром нагреве последние, суммируясь с тепловыми напряжениями, могут превысить прочность металла и вызвать образование в ней трещин.

Помимо указанных напряжений при нагреве могут возникать структурные напряжения, являющиеся результатом структурных превращений, сопровождающиеся изменением объема фаз. Однако эти напряжения возникают при таких температурах, при которых металл обладает достаточно высокой пластичностью, и поэтому не представляют опасности.

Так как различные металлы и сплавы обладают различной пластичностью и различными скоростями протекания процесса рекристаллизации, то в каждом конкретном случае деформирования необходимо опытное определение допустимого перепада температур. Установлено, что при обработке давлением мало- и

среднеуглеродистых сталей перепад температур Δt_k в 100° не оказывает влияния на качество металла.

При нагреве с большой скоростью в интервале температур от 20° до $500\text{--}700^\circ$, когда металл еще мало пластичен, тепловые напряжения могут привести к разрушению металла. Однако это обстоятельство следует учитывать только при нагреве заготовок больших сечений (слитков) из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей.

Заготовки небольших сечений (до $100\text{--}150\text{ мм}$ в диаметре) из любой стали можно нагревать до $500\text{--}700^\circ$ с любой технической возможной скоростью.

Размер поперечного сечения сказывается на величине тепловых напряжений, которые тем больше, чем больше сечение. Следовательно, с увеличением поперечного сечения заготовки скорость нагрева должна уменьшаться.

Основными характеристиками теплофизических свойств, влияющими на скорость нагрева металла, являются: теплопроводность, теплоемкость, удельный вес, электросопротивление и магнитная проницаемость. Влияние теплоемкости, теплопроводности и удельного веса может

Рис. 19. График времени нагрева заготовок из углеродистых сталей до температуры 1200° при различных способах нагрева:

1 — в обычных печах (температура печи 1300°C); 2 — при скоростном газовом нагреве (температура печи 1500°); 3 — при электроконтактном способе; 4, 5, 6 — при индукционном способе с использованием частот тока соответственно 8000, 2500 и 500 гц [2]

быть учтено так называемой температуропроводностью, характеризующей скорость распространения температуры в металле.

Коэффициент температуропроводности определяется из выражения

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (26)$$

где a — коэффициент температуропроводности в $\text{м}^2/\text{с}$;
 λ — коэффициент теплопроводности в $\text{ккал}/\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{град}$ ($\text{вт}/\text{м}\cdot\text{град}$);
 c — удельная теплоемкость в $\text{ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$ ($\text{дж}/\text{кг}\cdot\text{град}$);
 γ — удельный вес в $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\text{н}/\text{м}^3$).

При электрических способах нагрева на распространение тепла в металле помимо температуропроводности оказывает влияние электросопротивление и магнитная проницаемость, так как они характеризуют количество поглощаемой заготовкой энергии при протекании по ней электрического тока.

Исходя из понятия существа теплофизических свойств, трудно установить, что их влияние сказывается в конечном итоге на разности температур в сечении нагреваемой заготовки. Очевидно, что чем большей температуропроводностью обладает металл, тем при прочих равных условиях перепад температур будет меньше и металл будет быстрее нагреваться. Также очевидно и то, что чем большим электросопротивлением обладает металл, тем больше выделится в нем тепла при протекании по нему электрического тока.

Время нагрева металла зависит от тех же факторов, что и скорость. Из графиков, приведенных на рис. 18, а и б видно, что для одной и той же заготовки время нагрева t тем меньше, чем больше конечный перепад температур Δt_k , и при $\Delta t_{k1} > \Delta t_{k2}$ $t_1 < t_2$.

На практике для определения времени нагрева часто пользуются опытными данными в виде различного рода таблиц и графиков. В качестве примера на рис. 19 приведен график для определения времени нагрева заготовок (до температуры 1200°) из углеродистых сталей при различных способах нагрева.

Время нагрева в печах заготовок и слитков более крупного сечения может быть определено по эмпирической формуле Н. Н. Доброхотова [1]

$$\tau = k\alpha d \sqrt{\bar{d}}, \quad (27)$$

где k — коэффициент, учитывающий теплофизические свойства металла, для низкоуглеродистых и низколегированных сталей равный 10, для высоколегированных и высокоуглеродистых сталей 20;

d — диаметр или сторона квадрата заготовки в м;

α — коэффициент, учитывающий расположение заготовок на полу печи; значение его приведено на рис. 20.








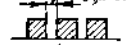

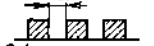

Расположение заготовок	α	Расположение заготовок	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2
			1,8

Рис. 20. Значение коэффициента α

Время нагрева высокоуглеродистых и высоколегированных сталей складывается из двух периодов: от комнатной до 850° и от 850 до 1200° ; для первого периода коэффициент k принимается 13,3, для второго — 6,7.

Перегрев и пережог

Нагрев стали до температуры выше верхнего предела температурного интервала $t_{g.n}$ сопровождается интенсивным ростом зерна. Это явление называется **п е р е г р е в о м**. Перегрев также может явиться результатом длительной выдержки металла и при более низкой температуре. Перегрев снижает механические свойства стали, особенно ударную вязкость. В большинстве случаев перегрев можно исправить отжигом или нормализацией, однако в случаях, когда зерна стали теряют способность к рекристаллизации, перегрев не исправим.

При нагреве до температуры, значительно превышающей верхний предел выше температуры перегрева, интенсивное окисление металла происходит не только с поверхности, но и по границам зерен с частичным их оплавлением; при этом связь между зернами нарушается и металл при деформации разрушается. Это явление носит название **п е р е ж о г а**. Пережог является неисправимым видом брака. Теоретически у стали с содержанием углерода 0,2% пережог наступает при температуре 1470° , а у стали с содержанием углерода 1,1% — при 1180° [24].

На рис. 21 изображена микроструктура отожженной (а), перегретой (б) и пережженной стали (в), травленной четырех- трехпроцентным раствором HNO_3 в спирте.

Окисление и обезуглероживание стали

При высоких температурах происходит активное химическое взаимодействие стали с окружающими газами (печными и воздухом), в результате чего ее поверхностные слои окисляются и обезуглероживаются. Окисление поверхности металла называется **у г а р о м**. Окисленный слой представляет собой окалину, образующуюся в результате диффузионного процесса окисления железа и примесей, входящих в состав стали. Окалина состоит из окислов железа в виде соединений Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO , располагающихся как бы в трех слоях. Окислителями стали помимо кислорода являются углекислый газ, сернистый газ и водяной пар.

Активное окалинообразование при нагреве стали начинается при температуре около 700° и возрастает особенно быстро при температурах выше 900° . На величину угара влияют: температура нагрева, атмосфера рабочего пространства нагревательного устройства, продолжительность нагрева, химический состав металла, а также форма и размеры нагреваемой заготовки.

Угар причиняет огромный ущерб производству, так как кроме безвозвратных потерь металла окалина при деформации вдавли-

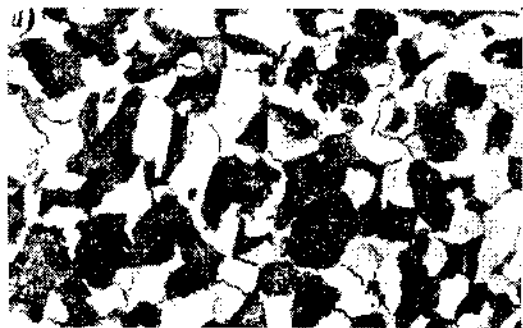


Рис. 21. Микроструктура стали 40. 200 \times

вается в поверхность металла, вызывая необходимость увеличения припусков на механическую обработку.

Окалина, являясь весьма твердым веществом, подобным наждаку, ускоряет в 1,5—2 раза износ инструмента (штампов, бойков, прокатных валков и т. п.), кроме того, взаимодействуя с подом и футеровкой нагревательных устройств, подвергает их разрушению.

Можно считать, что приблизительно около 5% всей выплавляемой стали в нашей стране теряется на окалину при нагреве в прокатных, кузнечных и термических цехах. При годовой выплавке стали в СССР в количестве 91 млн. *t* потери на окалину составляют около 4,5 млн. *t*, принося ущерб при средней стоимости стали 100 руб. за тонну в сумме 450 млн. руб.

В связи с причиняемым угаром ущербом необходимо принимать меры по его снижению и устранению его влияния на инструмент. С этой целью применяются методы ускоренного нагрева, нагрев металла в покрытиях, нагрев в нейтральной, восстановительной или защитной атмосферах. Однако полную защиту металла в процессе нагрева осуществить не удается, поэтому перед пластической деформацией применяются различные способы удаления окалины:

при прокатке — предварительное пропускание слитков между рифлеными валками, сбивающими окалину; при штамповке — предварительная осадка заготовок или гидроочистка, заключающаяся в кратковременном действии на заготовку несколькими струями воды под давлением 100—150 *ат* (10—15 *Мн/м²*).

Обезуглероживание стали, распространяющееся в отдельных случаях на глубину до 1,5—2 мм, заключается в выгорании углерода из ее поверхностных слоев (за счет взаимодействия его с кислородом и водородом).

Принципиально обезуглероживание зависит от тех же факторов, что и угар, поэтому мероприятия, снижающие угар, одновременно уменьшают обезуглероживание.

§ 7. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Нагревательные устройства могут быть классифицированы:

1) по источнику энергии — на пламенные печи и электрические установки;

2) по назначению — на устройства кузнечные, прокатные и термические.

3) по принципу действия — с периодической загрузкой и с непрерывной загрузкой (методические). В первых заготовки в процессе нагрева остаются неподвижными, загрузка и выдача их происходит преимущественно через то же садовое окно, во вторых — заготовка в процессе нагрева передвигается от места загрузки к месту выдачи.

В свою очередь, пламенные печи подразделяются дополнительно:

а) по роду применяемого топлива — на печи, отапливаемые твердым, жидким или газообразным топливом;

б) по способу использования тепла отходящих газов — на печи рекуперативные и регенеративные.

Пламенные печи

Для отопления печей применяется твердое, пылевидное, жидкое и газообразное топливо. В качестве *твердого топлива* используются каменный уголь, антрацит и кокс с теплотворной способностью от 3500 до 7000 ккал/кг (14,6—29 Мдж/кг). Твердое топливо сжигается на так называемых колосниковых решетках, расположенных в топочной камере печи.

Пылевидное топливо получают путем размола различных углей и сжигают его с помощью горелок. Оно может быть использовано с большим экономическим эффектом (почти в два раза), чем твердое топливо. Наибольшее применение для печей получили жидкое и газообразное топливо.

В качестве жидкого топлива применяется мазут, теплотворная способность которого составляет 10 000 ккал/кг (42 Мдж/кг). Для сжигания мазута применяются форсунки двух типов — высокого (1—6 ат) и низкого давления (0,01—0,03 ат).

В качестве *газообразного топлива* применяются природный газ и искусственные газы, являющиеся продуктами газификации твердого топлива или отходами металлургического производства. Калорийность природных газов колеблется в среднем от 8000 до 10 200 ккал/м³ (33,6—43 Мдж/м³). К числу искусственных газов относятся генераторный, светильный, коксовальный и доменный (колошниковый) газы. Наибольшую калорийность имеет светильный газ — 4700 ккал/м³ (19,7 Мдж/м³), наименьшую — доменный — 950 ккал/м³ (4 Мдж/м³). Сжигание газообразного топлива производится при помощи горелок низкого и высокого давления.

Основными показателями, характеризующими эффективность работы печей являются: напряженность пода, к. п. д. и удельный расход топлива. Напряженность пода определяет производительность печи и выражается отношением количества нагретого до заданной температуры металла в течение одного часа на одном квадратном метре пода

$$H = \frac{G}{F_n}, \quad (28)$$

где H — напряженность пода в кг/м²·ч;

G — производительность печи в кг/ч;

F_n — площадь пода в м².

Коэффициент полезного действия печи η представляет отношение количества тепла, затраченного на нагрев металла,

к количеству тепла, внесенному в печь топливом, подогретым воздухом и экзотермической реакцией при угаре металла

$$\eta = \frac{Q}{Q_n} \cdot 100\%, \quad (29)$$

где η — к. п. д. печи в %;

Q — тепло, затраченное на нагрев металла, в ккал (дж);

Q_n — тепло, внесенное в печь, в ккал (дж).

Удельный расход топлива выражается отношением количества затраченного топлива к весу нагретого металла.

Пламенные печи периодического действия. В эти печи металл загружается периодически, отдельными партиями (садками). После того как загруженная партия заготовок нагреется до требуемой температуры, их последовательно вынимают из печи и подвергают деформации. Как только вся партия заготовок обработана, в печь загружают следующую и т. д.

К печам периодического действия относятся камерные печи, нагревательные колодцы, щелевые и очковые печи.

Камерные печи подразделяются на печи с неподвижным и выдвижным подом, а также на печи с использованием и без использования тепла уходящих дымовых газов. На рис. 22 изображена схема простейшей печи, широко применяющейся в кузнечно-штамповочных цехах.

Печь состоит из металлического каркаса 2, выложенного внутри огнеупорным кирпичом — шамотом. Стены 3, под 1 и свод 4 образуют рабочее пространство печи 5. В боковой стенке расположено окно 7 для загрузки и разгрузки печи; оно закрывается массивной чугушной заслонкой 9, подвешенной к противовесу 10 посредством троса, перекинутого через блок 6. Сжигание топлива в печи производится при помощи горелок или форсунок 11. Раскаленные газы, отдавшие свое тепло металлу, помещенному на под, уходят через канал 8 в атмосферу.

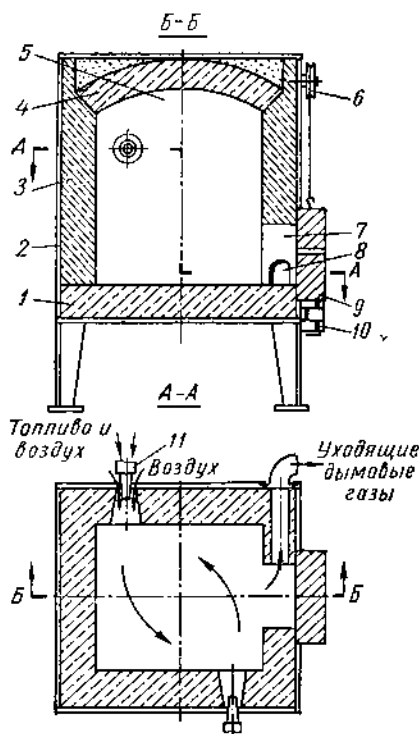


Рис. 22. Схема устройства камерной печи

Такие печи строятся с размером пода от 1 до 6—8 м² и более. Напряженность пода указанных печей составляет 300—400 кг/м²·ч [24]. Эти печи предназначены для нагрева сравнительно небольших заготовок или слитков. К. п. д. камерных печей без использования тепла уходящих газов 10—15%; удельный расход топлива в пересчете на условное составляет 0,11—0,3 кг/кг.

Причиной низкого к. п. д. камерных печей описанного типа являются большие потери тепла. Если считать все физическое тепло, внесенное в печь топливом при его сжигании, за 100%, то его расход (в %) распределится по следующим статьям.

Полезный расход тепла на нагрев металла	10—15
Потери на неполноту сгорания топлива	1,5—2
Потери тепла через щели и окна	10—15
Потери тепла на излучение кладкой в атмосферу	25
Потери тепла с уходящими газами	45—50

Но несмотря на низкий к. п. д. камерные печи имеют широкое применение в кузнечно-штамповочном производстве, так как они просты по конструкции, легко могут быть демонтированы и не требуют высокой квалификации от обслуживающего персонала.

Тепло уходящих газов может быть использовано для подогрева топлива и воздуха, необходимого для горения. Оно используется в устройствах, называемых рекуператорами и регенераторами (первые — непрерывного действия, вторые — периодического).

В рекуператорах холодный воздух пропускается по трубам, омываемым снаружи уходящими газами. Рекуператоры в зависимости от температуры подогрева воздуха бывают металлические (стальные, чугунные) и керамические. Наибольшее распространение получили металлические рекуператоры (из-за меньших габаритов и хорошей герметичности), в которых воздух подогревается до 200—300°. На рис. 23 изображен металлический рекуператор одной из конструкций, устанавливающийся на небольшие камерные печи.

Регенераторы представляют собой камеры, выложенные огнеупорным решетчатым кирпичом. Печь должна иметь два регенератора, работающих попеременно; один из регенераторов нагревается уходящими газами, а второй в это время отдает тепло проходящему через него холодному воздуху или газу. В регенераторе

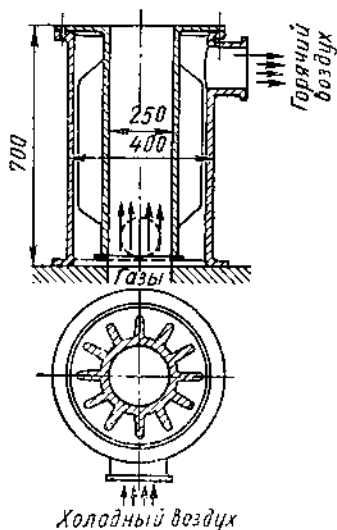


Рис. 23. Устройство металлического рекуператора

воздух подогревается до температуры 600—900°. Регенераторами оборудуются, обычно, крупные печи. К. п. д. печей, оборудованных рекуператорами или регенераторами, повышается на 10—15 %.

Печи с выдвижным подом представляют собой крупные камерные печи, оборудованные регенераторами. Подом печи является платформа, футерованная огнеупорным кирпичом, перемещающаяся на роликах или на катках. Такая конструкция пода позволяет загружать в печь весьма крупные слитки или заготовки, вес которых достигает десятков и даже сотен тонн.

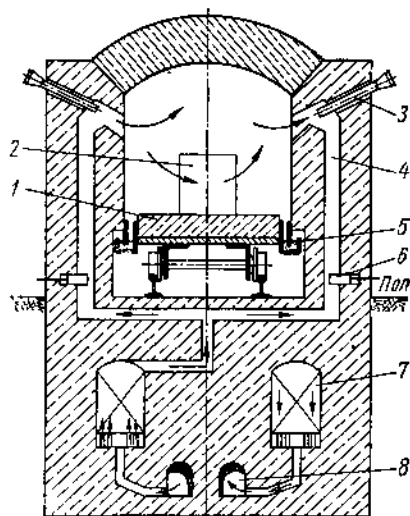


Рис. 24. Схема поперечного разреза печи с выдвижным подом (совмещенный разрез)

Под выдвигается при помощи мостового крана или лебедки. На рис. 24 изображена схема поперечного разреза печи с выдвижным подом. На под 1 загружают краном слиток 2, после чего его закатывают в печь. Вдоль боковых стен печи расположены горелки или форсунки 3. Воздух, нагретый в левом регенераторе 7, поступает к горелкам 3 с обеих сторон печи по одной паре каналов 4. Горячие газы омывают слиток 2 и по другой паре каналов 4, расположенных с обеих сторон печи, поступают в правый регенератор 7, нагревают его и уходят в дымоход 8. Когда правый регенератор нагреется (через 20—30 мин), а левый охладится,

производится перекидка клапанов с тем, чтобы правый регенератор работал на нагрев воздуха, а левый нагревался уходящими газами. При помощи шибера 6 регулируют количество подаваемого к горелкам воздуха. Для предохранения металлических частей платформы от горячих газов печь снабжена песочным затвором 5. Указанные печи работают с напряженностью пода 300—350 кг/м²·ч и имеют к. п. д. 20—25 %. Обычно печи с выдвижным подом устанавливаются в цехах свободнойковки, оборудованных гидравлическими прессами, а также в термических цехах.

Нагревательные колодцы представляют собой шахтные печи, оборудованные регенераторами или рекуператорами. Сводом нагревательных колодцев является крышка, которая для загрузки или разгрузки колодца сдвигается в сторону при помощи специального механизма. Колодцы предназначены для нагрева и подогрева слитков, имеющих полужидкую сердцевину. В рабочее пространство колодцев слитки помещаются в вертикальном положении, что

обеспечивает более равномерный их нагрев и исключает смещение усадочной раковины. Колодцы отапливаются чаще всего газами. Как правило колодцы применяются в прокатных цехах.

Щелевые и очковые печи, предназначенные для нагрева концов прутков или труб, представляют собой сравнительно небольшие печи, применяющиеся в штамповочных цехах. В этих печах загрузочным окнам придают форму щелей или ряда отдельных отверстий.

Пламенные печи непрерывного действия. К печам непрерывного действия относятся методические печи, в которых заготовка в процессе нагрева передвигается от места загрузки к месту вы-

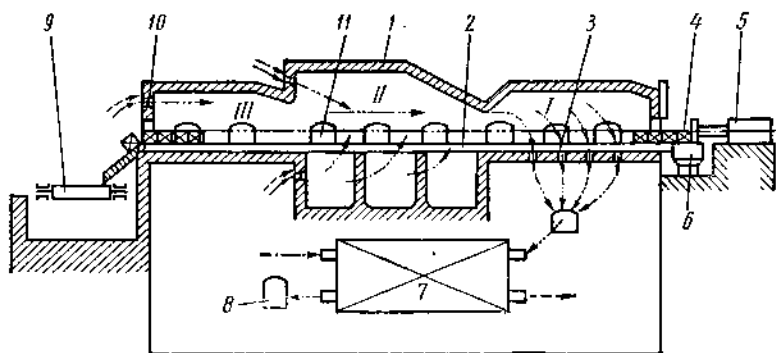


Рис. 25. Схематический разрез трехзонной методической печи (→ — топливо; —→ — холодный воздух; —·—·→ — продукты горения; — — → — подогретый воздух)

дачи. Методические печи имеют довольно длинное рабочее пространство (до 30 м и более), которое может состоять из нескольких зон с различной температурой. На рис. 25 изображен схематический разрез трехзонной (зоны I, II, III) методической печи с рекуператором. Печь имеет фигурный свод 1, отделяющий зоны друг от друга. Заготовки 4, поданные на загрузочную площадку 6, проталкиваются в печь при помощи толкателя 5. Толкатели могут действовать от гидравлического или механического привода. Для уменьшения усилия проталкивания заготовки перемещаются по стальным трубам 2, охлаждаемым водой.

Первая зона печи является подогревательной и имеет температуру 600—800°; вторая — зона максимального нагрева (зона сварочных температур) — имеет температуру 1250—1350° (нагрев заготовок в этой зоне производится с двух сторон — сверху и снизу); третья зона является зоной выдержки, в которой происходит выравнивание температуры по сечению заготовок. Температура в третьей зоне обычно на 50—100° выше верхнего предела температурного интервала для данного металла.

Печь отапливается горелками или форсунками 10. Горячие газы движутся навстречу перемещающимся заготовкам, омывают

их и через каналы 3 в поду первой зоны уходят в рекуператор 7, а оттуда в дымоход 8. Для наблюдения за нагревом и правильно расположением заготовок на поду в боковых стенках печи имеются окна 11. Печь начинает выдавать нагретый металл с того момента, когда заготовки расположатся вплотную друг к другу по всей длине пода. При перемещении холодной заготовки в печь продвигаются все предыдущие, и нагретая заготовка попадает на рольганг 9, который подает ее к штамповочному или прокатному агрегату.

Печи указанной конструкции в основном применяются в прокатных и кузнечных цехах для нагрева крупных (толщиной более 200—250 мм) слитков и заготовок. Напряженность пода этих печей достигает 800—1000 кг/м²·ч, к. п. д. составляет 30—40%, а удельный расход топлива почти в два раза меньше, чем в камерных печах. Методические двухзонные печи часто применяются в кузнечно-штамповочных цехах для нагрева мелких и средних заготовок и небольших слитков.

Скоростной нагрев. Основными особенностями скоростного нагрева являются: повышение температуры рабочего пространства до 1400—1500° и обеспечение всестороннего обогрева заготовок. Скорость нагрева при этом способе повышается не только за счет увеличения перепада температур, но и за счет повышения скорости движения газов, омывающих нагреваемые заготовки. В газовых печах скоростного нагрева тепло, передаваемое металлу излучением, составляет 80%, а тепло, передаваемое конвекцией, — всего лишь 20%.

При скоростном нагреве достигается уменьшение расхода топлива, угара металла и увеличение производительности за счет сокращения времени нагрева (см. рис. 19).

Скоростной нагрев осуществляется в механизированных и автоматизированных печах, отапливаемых высококалорийным газом или мазутом. Печи скоростного нагрева применяются двух типов: камерные — для нагрева коротких заготовок и проходные — для длинных прутков и труб.

На рис. 26 изображена газовая печь для скоростного нагрева коротких заготовок круглого сечения. Заготовки в этой печи перекатываются по двум направляющим 2, приваренным к трубам 1, охлаждаемым водой. В верхней части рабочего пространства расположены горелки 3. Для подогрева воздуха печь оборудована рекуператором 5. Продукты горения поступают в рекуператор по каналам 4 и 6; для понижения их температуры предусмотрены окна 7, через которые подсасывается воздух. В рекуператор воздух подается по каналу 8, расположенному над сводом печи; этим достигается охлаждение свода, что увеличивает срок его службы, а также частичный подогрев воздуха.

Печи рассмотренного типа применяются в кузнечно-штамповочном производстве для нагрева сравнительно тонких заготовок диа-

метром до 70—100 мм. В трубопрокатных цехах скоростной нагрев применяют для заготовок диаметром до 200 мм [68]. Печи скоростного нагрева являются более экономичными, чем печи обычного нагрева. Производительность печей скоростного нагрева достигает 2000 кг/ч, а их к. п. д. составляет 40—45%. Угар металла при скоростном нагреве не превышает 1,5% от веса заготовок.

Безокислительный нагрев. Из применяющихся способов безокислительного нагрева практический интерес представляют следующие:

1) нагрев в расплавленных солях; 2) нагрев с образованием защитных покрытий на поверхности нагреваемых заготовок; 3) нагрев в муфельных печах с защитной атмосферой; 4) нагрев в камерных печах открытого пламени.

Нагрев заготовок может производиться в ванне с расплавленными солями хлористого бария и натрия (примерно 70% BaCl_2 + 30% NaCl). Этот метод применим для нагрева мелких заготовок под ковку и штамповку. Длительность нагрева в два-три раза меньше, чем при нагреве таких же заготовок в камерной печи.

На поверхность нагреваемой заготовки тем или иным способом наносится пленка, предохраняющая ее от окисления. Например, заготовку можно нагреть в атмосфере окисла лития или в расплавленном стекле. При первом способе печные газы насыщаются небольшим количеством паров окисла лития, которые, омывая металл, восстанавливают окись железа на его поверхности. В результате поверхность металла покрывается тончайшим слоем окиси лития, предохраняющим его от окисления как при дальнейшем нагреве, так и при последующей деформации. Пленка окиси лития одновременно служит хорошей смазкой при деформировании металла. При втором способе заготовки помещаются в рекуперативную вращающуюся горизонтальную печь, в которой находится расплавленное стекло. Заготовки, перекачиваясь в рабочем пространстве, покрываются тонким слоем стекла, который предохраняет их от окисления.

Для предохранения заготовок от окисления в муфельной печи ее заполняют защитным газом, состоящим из CO и H_2 . Содержание CO в защитном газе достигает 30%, а H_2 — 15%. Муфельные

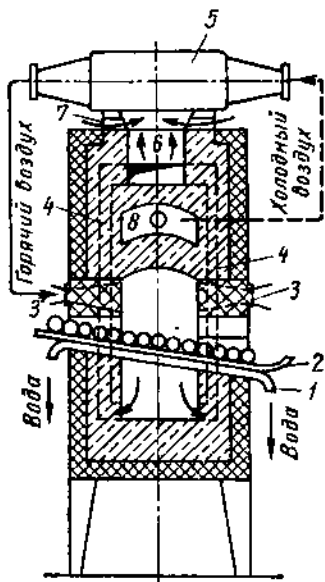


Рис. 26. Схема устройства перекаточной печи с рекуператором для скоростного газового нагрева

печи с защитной атмосферой применяются для нагрева мелких заготовок при точной штамповке.

Одним из наиболее прогрессивных методов безокислительного нагрева под ковку и штамповку является нагрев в камерных печах открытого типа. В этих печах нагрев металла происходит в атмосфере неполностью сгоревшего газа. Сгорание газообразного топлива в этих печах происходит в две стадии. В камере нагрева металла газ сжигается с коэффициентом избытка воздуха 0,4—0,55, благодаря чему в этой камере достигается такое соотношение между окислительными и восстановительными составляющими продуктов горения, которое практически исключает возможность окисления металла. Продукты неполного сгорания дожигаются в другой камере и выделяющееся при этом тепло расходуется на подогрев воздуха в рекуператоре до 800—1000°, без чего невозможно получить необходимую температуру (1250—1350°) в камере нагрева. При этом способе нагрева величина угара составляет примерно 0,25—0,30%.

Механизированные печи. В этих печах основные трудоемкие операции — загрузка заготовок в печь, перемещение и выдача их из печи — механизированы. В механизированных печах заготовки перемещаются различными способами: перекачиванием цилиндрических заготовок по наклонному поду, с помощью толкателей, шагающих балок, роликового и вращающегося пода и т. п. К механизированным печам относятся карусельные, конвейерные, печи с шагающими балками и т. п.

Печи с шагающими балками применяют для нагрева листового, полосового и сортового материала; *печи с роликовым подом* — для нагрева листового и полосового материала под штамповку, гибку и другие операции; *конвейерные печи* — для нагрева концов заготовок для высадки на горизонтально-ковочных машинах и др.

В последнее время большое признание начинают получать *карусельные печи*, позволяющие легко обеспечить требующийся режим нагрева заготовок любой формы. Карусельные печи по сравнению с методическими занимают меньшую площадь и обеспечивают более равномерный нагрев, так как заготовки на поду этих печей располагаются неплотную.

Карусельные печи бывают двух разновидностей: с кольцевым подом и тарельчатым; первые по характеру нагрева заготовок сходны с методическими печами, а вторые — с камерными. И у тех, и у других карусельных печей под с заготовками получает вращение, скорость которого может регулироваться. Заготовка нагревается до соответствующей температуры за время одного оборота пода.

На рис. 27 изображен разрез карусельной печи с кольцевым подом. Заготовки с загрузочной площадки 1 помещаются на кольцевой под 2, вращающийся навстречу движению горячих газов. Форсунки (или горелки) 3 располагаются в стене таким

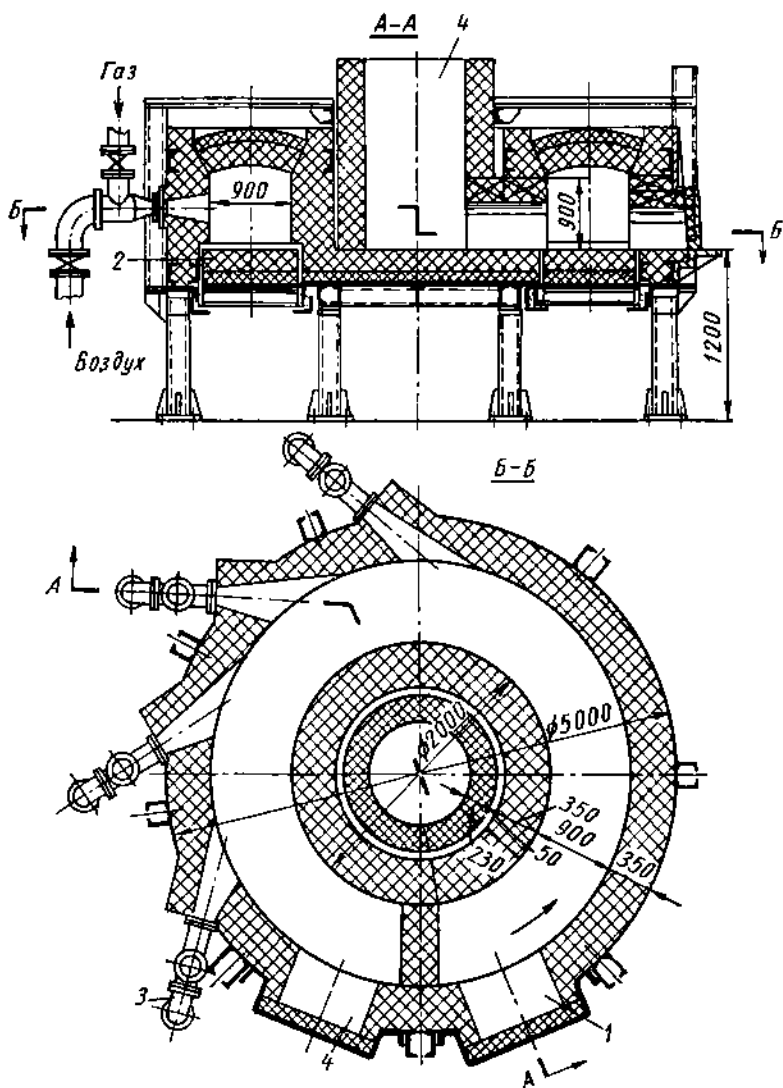


Рис. 27. Схема устройства карусельной печи с кольцевым подом

образом, чтобы обеспечить постепенный и быстрый нагрев заготовок. Нагретая заготовка с разгрузочной площадки 4 подается к штамповочному агрегату или прокатному стану.

Показатели работы карусельных печей с кольцевым подом близки к показателям методических печей. Карусельные печи строятся с диаметром пода от 1 до 30 м. Малые печи с диаметром пода до 10 м применяются в кузнечно-штамповочных цехах, а большие — в прокатных.

Электронагревательные устройства

Печи сопротивления. Печи сопротивления конструктивно выполняются так же, как и пламенные печи, с той лишь разницей, что вместо форсунок или горелок в стенах монтируются металлические или карборундовые (силитовые) элементы сопротивления, подключающиеся к силовой сети. Сопротивления, нагреваясь, излучают тепло, которое и передается металлу, помещаемому на под печи. Печи с карборундовыми сопротивлениями обеспечивают нагрев металла до $1200\text{--}1250^\circ$, а печи с металлическими сопротивлениями — до $900\text{--}950^\circ$.

Для нагрева сталей применяются печи с карборундовыми (силитовыми) сопротивлениями, которые строятся с размерами пода до 1 м^2 , мощностью до 50 кВт. Производительность этих печей составляет 130 кг/ч , а удельный расход электроэнергии $600\text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ и более.

Большим преимуществом электропечей сопротивления является возможность точного регулирования температуры рабочего пространства. Печи с карборундовыми сопротивлениями применяются в кузнечно-штамповочных цехах.

Индукционный нагрев. В основе индукционного нагрева лежит явление электромагнитной индукции, сущность которого состоит в том, что при внесении проводника в переменное электромагнитное поле в нем возникает электродвижущая сила (э. д. с.). Проводник, представляющий собой сопротивление протекающему по нему току, нагревается за счет джоулева тепла. Для создания мощного переменного магнитного поля применяются многовитковые соленоиды (индукторы), выполненные из медной трубки квадратного или прямоугольного сечения, охлаждаемые проточной водой. Внутри такого индуктора помещается нагреваемая заготовка. Источником переменного тока может быть либо промышленная сеть (50 гц), либо преобразователь частоты (машинный или ламповый генератор). В Советском Союзе стандартными частотами переменного тока являются частоты 50; 500; 1000; 2500 и 8000 гц.

Принципиальная электрическая схема индукционного нагрева изображена на рис. 28. Переменный ток от преобразователя 1 по кабелю подается к индуктору 2, внутри которого находится нагреваемая заготовка 3. Параллельно катушке индуктора подключается батарея конденсаторов 4, которая, являясь накопителем элек-

тростатической энергии, повышает низкий коэффициент мощности индуктора. Для включения и выключения нагрева служит устройство 5 в виде контактора.

При протекании переменного тока по проводнику наблюдается так называемый поверхностный эффект (скин-эффект), заключающийся в том, что ток распределяется в сечении проводника неравномерно: в поверхностном слое последнего он больше, а в центре — меньше. С некоторым приближением, достаточным для практических расчетов, можно считать, что переменный ток протекает по проводнику только в поверхностном слое толщиной Δ . Этот слой Δ принято называть глубиной проникновения, величина которой может быть подсчитана по формуле

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (30)$$

где ρ — удельное электро-сопротивление проводника в $\text{ом} \cdot \text{см}$;

μ — относительная магнитная проницаемость материала проводника — безразмерная величина, показывающая во сколько раз магнитная проницаемость проводника больше проницаемости вакуума;

f — частота тока в гц .

Из формулы (30) можно заключить, что с увеличением удельного электросопротивления и уменьшением частоты тока глубина проникновения возрастает. У ферромагнитных материалов относительная магнитная проницаемость при температуре точки Кюри (770°C) падает до 1 и глубина проникновения резко возрастает (в 20—30 раз).

Скорость нагрева, а также к. п. д. системы заготовка — индуктор зависят от соотношения диаметра заготовки d и глубины слоя Δ . Практикой установлено, что при нагреве большинства металлов [2], [3] должно соблюдаться неравенство

$$3 < \frac{d}{\Delta_s} < 6. \quad (31)$$

При нагреве ферромагнитных материалов Δ_s подсчитывается для температуры точки Кюри при $\mu = 1$ и при соответствующем данной температуре ρ . При нагреве парамагнитных материалов, у которых $\mu = 1$, Δ_s определяется, исходя из среднего значения ρ , в интервале температур нагрева от комнатной до максимальной. Если соблюдается неравенство (31), то к. п. д. системы заготовка — индуктор составляет не менее 50%. Время нагрева заготовок из

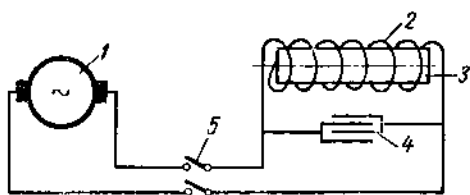


Рис. 28. Принципиальная электрическая схема индукционного нагрева

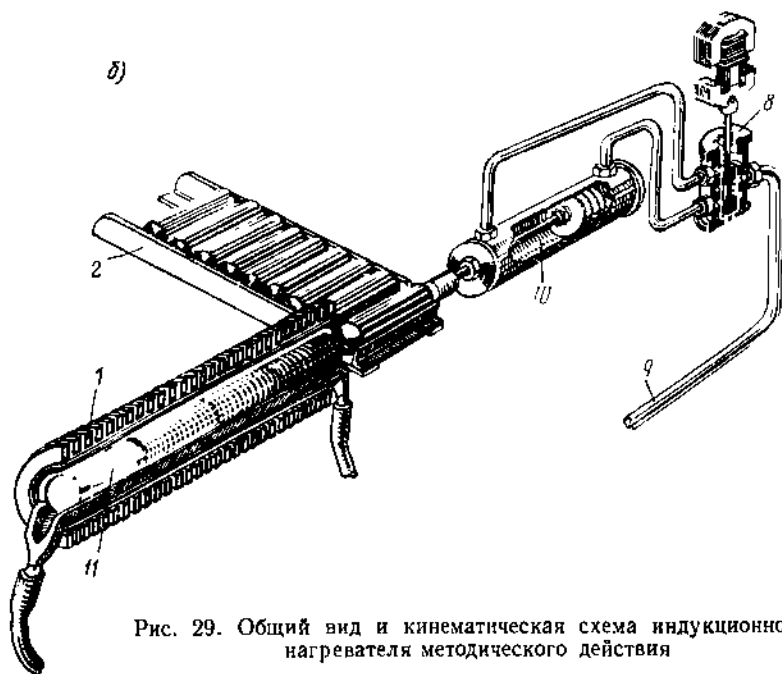
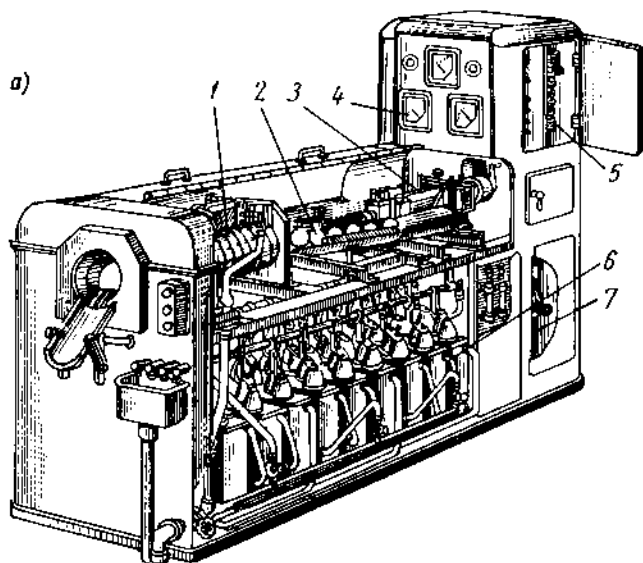


Рис. 29. Общий вид и кинематическая схема индукционного нагревателя методического действия

углеродистых сталей может быть определено из графиков, приведенных на рис. 19.

Индукционные нагреватели, применяющиеся в промышленности, подразделяются на периодические и методические. Сущность работы тех и других аналогична работе камерных и методических печей. Наиболее часто применяются нагреватели методического действия. На рис. 29, а изображен общий вид методического индукционного нагревателя для мерных заготовок.

Как видно из рисунка, нагреватель состоит из индуктора 1, загрузочного лотка 2, пневматического толкателя 3, измеритель-

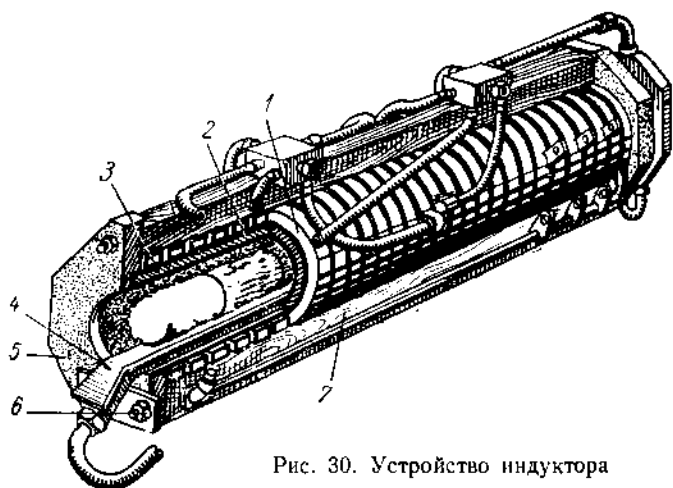


Рис. 30. Устройство индуктора

ных приборов 4 для наблюдения за режимом нагрева, аппаратуры 5 автоматического управления подачей заготовок в индуктор, конденсаторной батареей 6 и контактора 7, включающего и выключающего нагрев.

На рис. 29, б изображена кинематическая схема нагревателя. Реле времени через определенные интервалы, соответствующие необходимому темпу подачи заготовок 11, включает электропневматический золотник 8, и сжатый воздух из трубопровода 9 подается в цилиндр 10 пневматического толкателя. При перемещении поршня толкателя заготовка, лежащая на лотке 2, поступает в индуктор 1. При загрузке в индуктор холодной заготовки лежащая с противоположной стороны индуктора нагретая до ковочной температуры заготовка выталкивается на транспортер и доставляется к штамповочному агрегату.

Основной частью нагревателя является индуктор, устройство которого изображено на рис. 30. Индуктор состоит из многовитковой спирали 1, выполненной из медной трубки прямоугольного сечения. Между витками ее располагаются картонные изолирующие

кольца. Спираль индуктора сжата асбоцементными щеками 5 с помощью латушных шпилек 6. Для предотвращения смещения витков спирали служат деревянные брусья 7.

Внутри спирали 1 находится электрическая 2 и тепловая 3 изоляция, состоящая из гильз миканита, асбеста и шамота, в целом представляющая собой футеровку индуктора. Для предохранения футеровки от разрушения при продвижении заготовок вдоль индуктора располагаются направляющие 4 из жаростойкой стали, охлаждаемые водой. Форма поперечного сечения окна спирали индуктора выполняется в зависимости от формы поперечного сечения заготовок.

Внутренний диаметр спирали индуктора выбирается из соотношений достаточно высокого к. п. д. системы заготовка — индуктор по формуле

$$D = (1,5 \div 2) d. \quad (32)$$

Длина спирали индуктора должна быть длиннее суммарной длины нагреваемых в ней заготовок на один-два диаметра заготовки. Электрические и тепловые расчеты индукторов, а также их конструкция изложены в книге А. Е. Слухоцкого и С. Е. Рыскина [45].

Средние энергетические показатели при индукционном нагреве углеродистых сталей следующие.

К. п. д. нагревателя в %	Около 60—65
Удельный расход электроэнергии по промышленной сети в $\text{квт} \cdot \text{ч/кг}$	0,45—0,5
Производительность нагревателя в кг/ч	2000—3000

Индукционный нагрев применяется в настоящее время в кузнечно-штамповочных цехах автомобильных и тракторных заводов.

Он имеет ряд преимуществ, основными из которых являются большая скорость нагрева, высокий к. п. д., малый угар (0,4—0,6%) и др. К недостаткам индукционного электронагрева можно отнести сравнительно высокую стоимость силовой электрической установки, трудность осуществления подогрева заготовок и нагрева заготовок сложной формы.

Электроконтактный нагрев. В основе электроконтактного способа нагрева лежит закон Джоуля — Ленца, выражающийся формулой (25). Принципиальная электрическая схема контактного нагрева изображена на рис. 31, а. От понижающего силового трансформатора 1 ток при помощи гибких шин подается к пневматическим медным контактам 2, между которыми зажимается нагреваемая заготовка 3. Силовой трансформатор в первичной обмотке имеет несколько ступеней регулирования, что позволяет изменять напряжение, а следовательно, и силу тока во вторичной цепи, т. е. в заготовке. Напряжение во вторичной цепи трансформаторов для контактного нагрева бывает от 4 до 16 в, а сила тока может достигать нескольких десятков тысяч ампер.

При электроконтактном нагреве концы заготовки, находящиеся под контактами, к концу периода нагрева имеют температуру на $200-300^{\circ}$ ниже остальной ее части. Выравнивание температуры в процессе нагрева достигается уменьшением давления на контакты, что сказывается на увеличении выделения тепла в местах

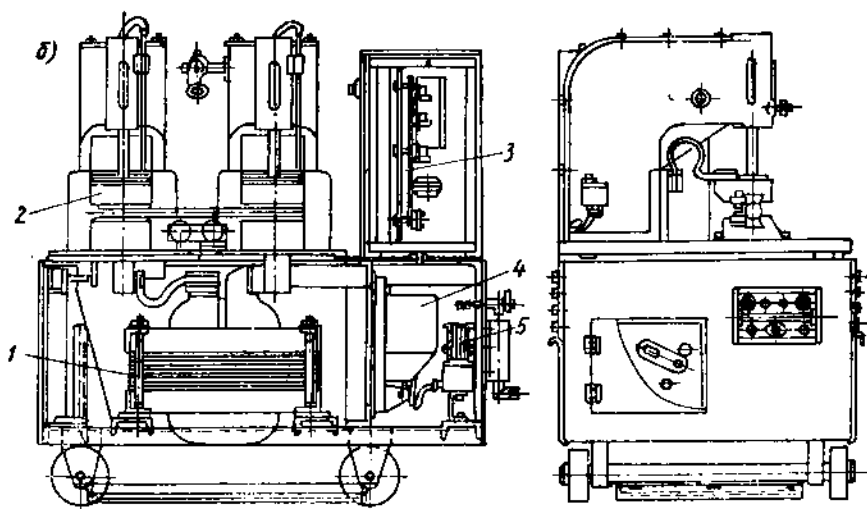
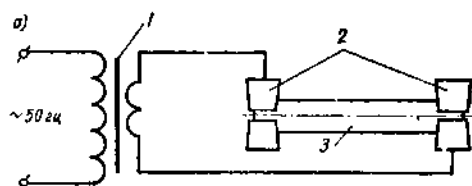


Рис. 31. Принципиальная электрическая схема контактного нагрева (а) и установка электроконтактного нагрева заготовок типа К-17, разработанная Горьковским автомобильным заводом (б):

1 — понижающий трансформатор; 2 — зажимные контактные головки; 3 — шкаф с аппаратурой управления; 4 — контактор; 5 — электропневматический кран

соприкосновения заготовки с контактами. Электроконтактный нагрев успешно применяется в кузнечно-штамповочном цехе Горьковского автомобильного завода и др.

На рис. 31, б изображена одна из конструкций контактных установок мощностью 150 ква. Установка предназначена для нагрева заготовок длиной от 400 до 650 мм и диаметром от 20 до 42 мм.

В настоящее время имеется возможность нагревать электроконтактным способом заготовки до 75 мм в диаметре. Нагрев заготовок диаметром более 75 мм не применяется из экономических соображений, так как при больших размерах заготовок

чрезвычайно возрастают размеры силовых трансформаторов. Коэффициент полезного действия электроконтактных установок колеблется от 60 до 80%. Удельный расход электроэнергии при нагреве углеродистых сталей составляет $0,325 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$, что в полтора раза меньше чем при индукционном нагреве.

Основными недостатками электроконтактного нагрева являются ограниченность размеров нагреваемых заготовок, сравнительно малая стойкость зажимных контактов, а также сложность нагрева заготовок переменного сечения.

При применении электроконтактного нагрева технологию деформации (штамповки) рекомендуется проектировать так, чтобы из одной заготовки одновременно изготовлялось несколько поковок; это позволило бы вести нагрев с большим к. п. д. установки.

В промышленности электроконтактный нагрев часто применяется непосредственно в штамповочных агрегатах, например в электровысадочных машинах. На этих машинах изготавливаются поковки типа стержней с головками или колец.

§ 8. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ

Так как для обработки давлением весьма важным является строгое соблюдение температуры нагрева металла, то необходим ее контроль. В производственных условиях контроль температуры производится путем измерения ее соответствующими приборами, называемыми пирометрами.

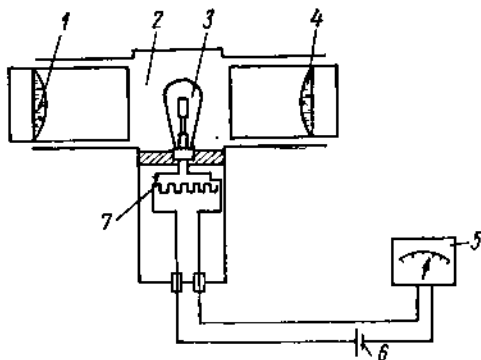


Рис. 32. Принципиальная схема оптического пирометра с исчезающей нитью

Применяющиеся пирометры подразделяются: на термоэлектрические, оптические, радиационные и фотоэлектрические. Пирометры помимо непосредственного измерения температуры могут выполнять функции регуляторов теплового режима работы нагревательных устройств. Наибольшее применение получили *термоэлектрические пирометры*, состоящие из термопары и мил-

ливольтметра или потенциометра. Эти пирометры весьма удобны вследствие возможности фиксации и автоматической записи температуры на большом расстоянии от измеряемого объекта и обеспечивают большую точность измерения (до $\pm 5^\circ$). Для измерения температур до 1100°C применимы хромель — алюмелевые термопары, а для температур до 1500° платина — платинородиевые.

В производственных условиях для периодического быстрого контроля температуры разогретого тела применяется оптический пирометр с исчезающей нитью, принципиальная схема которого изображена на рис. 32. Действие этого пирометра основано на сравнении излучения раскаленного тела с яркостью нити лампы накаливания. Через объектив 1 лучи раскаленного тела попадают в окуляр 4, а затем в глаз наблюдателя. В зрительной трубе 2 помещена лампа накаливания 3, накал нити которой регулируется с помощью реостата 7, включенного в цепь батареек, или аккумулятора 6. Изменение степени накала лампы 3 фиксируется миллиамперметром 5, градуированным в градусах Цельсия. При совпадении температуры раскаленного тела с температурой нити последняя на фоне тела исчезает (не будет видна). При температуре тела, большей чем температура нити, последняя будет выглядеть темной. Точность измерения во многом зависит от состояния поверхности раскаленного тела (от наличия или отсутствия окалины) и от опыта пирометриста. Оптическим пирометром возможно измерять температуры от 700 до 1500° С.

Радиационные пирометры (ардометры) работают с помощью платиновой пластинчатой термопары, помещенной в зрительной трубе, направляемой объективом на раскаленное тело. Тепловые лучи, излучаемые телом, фокусируются объективом на спаяе платиновой термопары. Возникающая т. э. д. с. фиксируется милливольтметром, градуированным в градусах Цельсия. Такие пирометры пригодны для измерения температуры рабочего пространства печей.

Фотоэлектрический пирометр представляет собой прибор, служащий для измерения или регистрации температур с помощью фотоэлемента. Если в визуальном оптическом пирометре глаз наблюдателя сравнивает яркость объектов, то фотоэлемент в фотоэлектрическом пирометре сравнивает или измеряет световые потоки от раскаленных тел, создающие ту или иную освещенность на его катоде. Фотоэлектрический пирометр отличается высокой точностью измерений и быстрым действием, благодаря чему он часто применяется как отключающее устройство при быстрых процессах нагрева, например, таких, как индукционный и электродный.

Глава III

ПРОКАТКА

§ 9. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОКАТКИ

Значение прокатного производства и классификация процессов прокатки

Значение прокатного производства. Прокаткой называется процесс деформации металла путем сдавливания (обжатия) его между двумя вращающимися валками. При прокатке уменьшается толщина заготовки — болванки или полосы — и увеличивается ее длина и ширина (частично), а в ряде случаев изменяется и первоначальная форма заготовки.

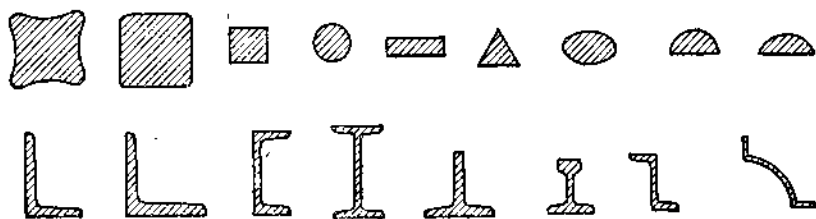


Рис. 33. Некоторые виды профилей, получаемых прокаткой

Прокатка является одним из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением и имеет огромное значение в народном хозяйстве. В настоящее время прокатке подвергается 75—80% всей выплавляемой стали и 55% выплавляемого цветного металла. Широкое применение прокатки объясняется рядом преимуществ ее по сравнению с другими видами обработки давлением (прессованием, волочением), а также высокой производительностью и меньшей стоимостью изготовления изделий.

Профили различных видов и размеров — от тончайшей ленты (фольги) до листов и профилей крупных размеров — прокатывают на многочисленных механизированных и автоматизированных станках. На рис. 33 показаны некоторые виды профилей, получаемых прокаткой.

Классификация процессов прокатки. Имеются три основных вида прокатки: продольная, поперечная и косая.

При продольной прокатке (рис. 34, а) металл 2 деформируется (обжимается) между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков; при этом уменьшается площадь поперечного сечения заготовки и увеличивается (главным образом) ее длина. Этот способ имеет наибольшее распространение и используется при изготовлении профильного и листового проката.

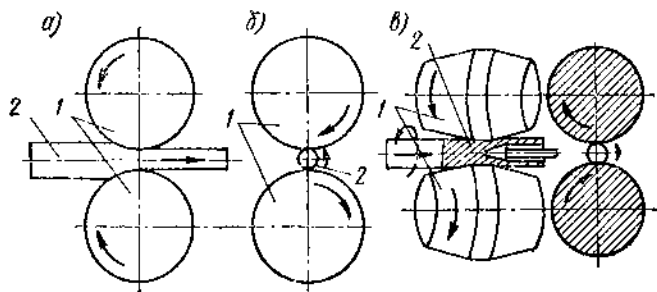


Рис. 34. Основные способы прокатки

При поперечной прокатке валки, вращаясь в одном направлении (рис. 34, б), придают вращение заготовке, которая деформируется вдоль оси валков.

При кривой прокатке благодаря расположению валков под углом заготовка кроме вращательного движения имеет еще и поступательное (рис. 34, в). С помощью этой прокатки получают пустотелые заготовки для бесшовных труб и периодический прокат.

Очаг деформации, дуга и угол захвата

При прокатке металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперед как бы перемещается по прокатываемому металлу. Этот участок называется *очагом деформации* (рис. 35); характеризуется он продольным и поперечным сечением (рис. 35). Форма поперечного сечения очага деформации зависит от формы поперечного сечения прокатываемого профиля и может быть самой различной: квадратной, прямоугольной, круглой, овальной и др.

Дуга АВ, по которой валок диаметром $d = 2r$ соприкасается с прокатываемым металлом, называется *дугой захвата* l_2 . Проекция дуги захвата на горизонтальную ось называется *длиной очага деформации* l . Центральный угол α , соответствующий дуге захвата, называется *углом захвата*.

Длина дуги захвата

$$l_2 = \frac{\pi \alpha}{360} \quad (33)$$

Часто длину дуги l_d ввиду сравнительно небольшого угла захвата заменяют длиной хорды $l_h = AB$. Длину хорды нетрудно определить из рассмотрения подобия треугольников ABC и ABE :

$$l_y = \sqrt{r(H-h)}. \quad (34)$$

Из прямоугольного треугольника ABC находим, что длина очага деформации

$$AC = l = \sqrt{AB^2 - BC^2} = \sqrt{r(H-h) - \left(\frac{H-h}{4}\right)^2}. \quad (35)$$

Ввиду того, что при применяемых на практике углах захвата второй член подкоренного выражения в этом уравнении весьма мал по сравнению с первым, величина l может быть принята равной l_0 .

Основные величины, характеризующие деформацию при прокатке

Уменьшение толщины заготовки при прокатке (в мм или см) называется линейным или абсолютным обжатием, т. е.

$$\Delta h = H - h, \quad (36)$$

Рис. 35. Сечения очага деформации:
а — продольное; б — поперечное

Рис. 35. Сечения очага деформации:
а — продольное; б — поперечное

Отношение абсолютного обжатия к первоначальной толщине, выраженное в процентах, называется относительным обжатием (характеризует деформацию по высоте) и представляет собой степень деформации при прокатке

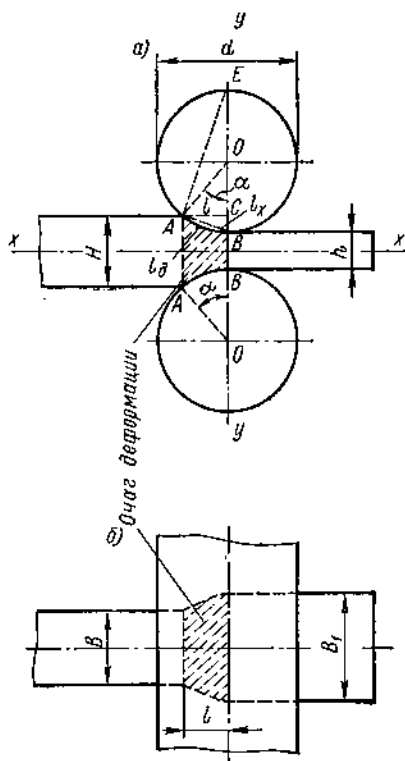
$$u = \frac{\Delta h}{H} \cdot 100\% = \frac{H-h}{H} \cdot 100\%. \quad (37)$$

Разность между шириной полосы до и после прокатки (в мм или см) называется абсолютным уширением

$$\Delta b = B_1 - B_2 \quad (38)$$

а отношение абсолютного уширения к первоначальной ширине — относительным уширением (характеризует деформацию по ширине)

$$\gamma = \frac{\Delta b}{B} \cdot 100\% = \frac{B_1 - B}{B} \cdot 100\%. \quad (39)$$



Отношение длины заготовки после прокатки L_1 к длине до прокатки L , характеризующее продольную деформацию, называется коэффициентом вытяжки

$$\mu = \frac{L_1}{L} = \frac{BH}{B_1h}. \quad (40)$$

Важнейшими параметрами, необходимыми при проектировании технологического процесса прокатки, являются степень деформации u и коэффициент вытяжки μ .

Условия захвата металла валками

Для осуществления процесса прокатки металла необходимо иметь определенные условия. При этом следует отдельно рассматривать условия при неустановившемся процессе прокатки — для начального момента, когда болванка (заготовка) только подводится к валкам, — и при установившемся процессе, когда заготовка уже втянута в валки.

Условие захвата металла при неустановившемся процессе прокатки. При соприкосновении заготовки с вращающимися валками последние будут оказывать на нее действие в виде сил N , направленных нормально к поверхности валков в точках соприкосновения металла с валками A , и сил трения T , направленных по касательной (рис. 36, а).

Для выявления действия указанных сил N и T на условия захвата металла валками спроектируем их на горизонтальную ось XX (по направлению прокатки) и на вертикальную YY . Тогда соответственно получим N_x , T_x , N_y и T_y от действия одного валка. Из-за симметричности системы то же будет относиться и ко второму валку. Вертикальные силы N_y и T_y , учитывая действие двух валков, производят обжатие конца заготовки. Горизонтальная сила T_x втягивает металл в зев валков, а сила N_x , наоборот, противодействует втягиванию металла в валки.

В зависимости от соотношения этих двух сил могут быть три случая (условия):

- 1) если $\frac{T_x}{N_x} = 1$, то вследствие равновесия сил валки будут буксовать;
- 2) при $\frac{T_x}{N_x} > 1$ валки захватят заготовку;
- 3) если $\frac{T_x}{N_x} < 1$, захвата не будет, т. е. прокатка неосуществима.

С точки зрения захвата заготовки наиболее интересным является второе условие.

Из геометрической схемы сил (рис. 36, а)

$$\left. \begin{aligned} N_x &= N \sin \alpha; \\ T_x &= T \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Известно, что коэффициент трения f выражается формулой

$$f = \frac{T}{N}. \quad (42)$$

Подставив значение силы трения T из формулы (42) во второе выражение (41), получим

$$T_x = fN \cos \alpha. \quad (43)$$

На основании второго условия, зная, что при захвате заготовки должно соблюдаться неравенство $\frac{T_x}{N_x} > 1$, разделим выражение (43) на второе выражение (41)

$$\frac{fN \cos \alpha}{N \sin \alpha} > 1.$$

Разделив числитель и знаменатель левой части этого неравенства на $\cos \alpha$, получим основное условие захвата заготовки

$$f > \operatorname{tg} \alpha. \quad (44)$$

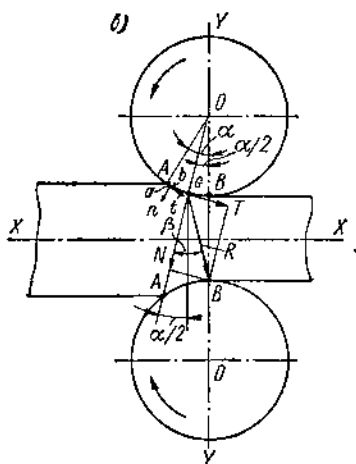
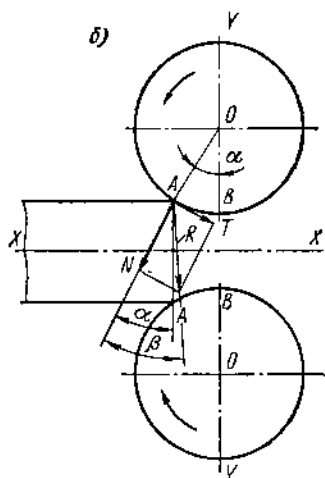
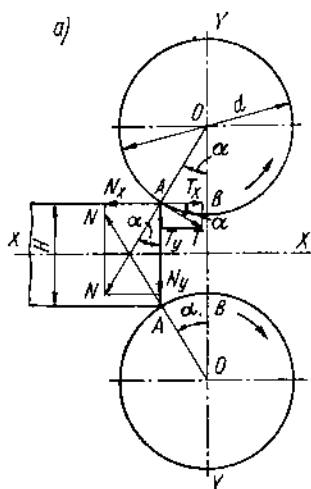


Рис. 36. Силы, действующие на прокатываемый металл со стороны валков: а — общая схема действия сил; б — в начальный момент захвата при $\beta > \alpha$; в — при установившемся процессе прокатки, когда $\beta > \frac{\alpha}{2}$

Это условие показывает, что при неустановившемся процессе прокатки для захвата заготовки коэффициент трения должен быть больше тангенса угла захвата. Условие (44) можно выразить через

угол трения β , зная, что его тангенс численно равен коэффициенту трения, т. е.

$$\operatorname{tg} \beta = f. \quad (45)$$

Так как $\operatorname{tg} \beta = \frac{T}{N}$, то, следовательно, β представляет собой угол между силой нормального давления N и равнодействующей R , построенной на силах N и T (рис. 36, б).

Исходя из уравнений (44) и (45), можно получить условие захвата, выраженное через угол трения,

$$\beta > \alpha. \quad (46)$$

Геометрически это условие показывает, что захват заготовки при неустановившемся процессе произойдет в том случае, когда равнодействующая R будет отклонена в сторону прокатки от вертикали AA (рис. 36, б).

При $T_x = N_x$ равнодействующая R вертикальна — валки буксуют; при $\frac{T_x}{N_x} < 1$ равнодействующая R отклонена в сторону, противоположную прокатке, — захвата заготовки не будет.

Условия захвата металла при установившемся процессе прокатки. Для получения условия захвата заготовки при установившемся процессе предположим, что распределение действующих сил по дуге захвата, а следовательно, и по всей поверхности соприкосновения валков с металлом будет равномерно. Очевидно, что в каждой выделенной на дуге захвата элементарной дуге ab будут действовать элементарные силы трения t и силы нормального давления n (рис. 36, в). Эти элементарные силы, действуя по всей дуге захвата, представляют равномерно распределенную нагрузку.

Заменив равномерно распределенную нагрузку суммарными сосредоточенными силами T и N , действующими по середине дуги в точке G , и воспользовавшись из предыдущего вывода положением о том, что при захвате заготовки равнодействующая должна быть отклонена в сторону прокатки от вертикали, проведенной через точку приложения сил (точка G), можем написать основное условие захвата, выраженное через угол трения

$$\beta > \frac{\alpha}{2}. \quad (47)$$

Тогда это же условие через коэффициент трения будет выражаться неравенством

$$f > \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (48)$$

Таким образом, как видно из сравнения неравенства (44) с неравенством (48), захват заготовки при установившемся процессе в два раза легче, чем при неустановившемся.

Из рассмотрения треугольников ABC и AOC (рис. 35) можно установить зависимость между углом захвата, диаметром валков и абсолютным обжатием. Из рисунка видно, что $BC = OB - OC = r - OC$. Отрезок $OC = r \cos \alpha$;

$$\overline{BC} = \frac{H-h}{2} = r - r \cos \alpha = r (1 - \cos \alpha),$$

откуда

$$H - h = d (1 - \cos \alpha). \quad (49)$$

Определяя отсюда α , получаем

$$\cos \alpha = 1 - \frac{H-h}{d}. \quad (50)$$

Этими зависимостями и пользуются для определения угла захвата α .

Влияние различных факторов на захват металла валками

Основные неравенства (44) и (48), выражающие условия захвата при прокатке, показывают, что может иметь место две группы факторов. Одна из групп включает факторы, влияющие на угол захвата, другая — факторы, влияющие на коэффициент трения.

Из уравнения (50) видно, что на угол захвата влияет величина абсолютного обжатия и диаметр валков. Анализ показывает, что с увеличением обжатия при данном диаметре валков величина угла захвата возрастает, следовательно, при прочих равных условиях захват ухудшается. С увеличением диаметра валков, при данном обжатии, величина угла захвата уменьшается и, следовательно, захват облегчается.

К числу факторов, оказывающих влияние на угол захвата, относится также заталкивающая сила, действующая на заготовку вдоль ее оси. Действие заталкивающей силы (особенно при неустановившемся процессе) заставляет сминаться углы заготовки, соприкасающиеся с валками, в результате чего уменьшается угол захвата и захват облегчается.

К основным факторам, влияющим на коэффициент трения, относятся [59]: пластичность металла; температура его; скорость вращения валков; материал валков и состояние их поверхности; химический состав прокатываемого металла.

Опытами установлено, что с повышением пластичности металла вследствие снижения величины удельного давления условия захвата облегчаются.

Влияние температуры на захват представляет собой явление довольно сложное хотя бы потому, что с одной стороны с повышением температуры пластичность металла повышается — и захват облегчается, с другой стороны коэффициент трения па-

дает — и захват затрудняется. На рис. 37, а показан характер изменения коэффициента трения от температуры стали с явным максимумом при 700°C . Однако учитывая, что прокатка стали, нагретой до 1200° , может производиться с максимальным обжатием до 50%, а стали, нагретой до 1000° , только с обжатием до 30%, деформацию металла при прокатке следует проводить при возможно более высоких температурах.

Исследования показывают, что при повышении окружной скорости валков v_0 с 2 до 3 м/сек коэффициент трения,

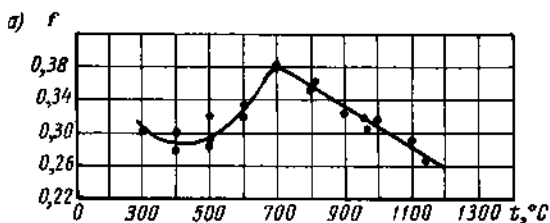
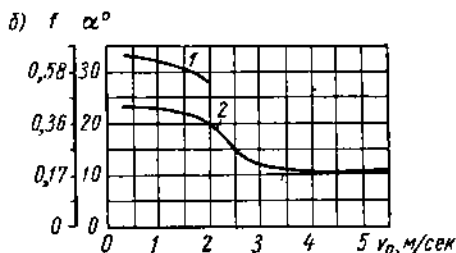


Рис. 37. Зависимость коэффициента трения и угла захвата от температуры и скорости прокатки: а — коэффициента трения от температуры для стали (0,5—0,8% С); б — коэффициента трения и угла захвата от скорости прокатки:

1 — при насеченных валках; 2 — при гладких валках



а вместе с ним и угол захвата α резко падают (рис. 37, б); тем самым ухудшается захват металла валками. Дальнейшее повышение скорости валков почти не сказывается на условиях захвата.

Известно, что коэффициент трения зависит от рода материала трущихся пар; так, например, наибольший коэффициент трения обеспечивают полутвердые чугунные валки, наименьший — стальные. Шероховатость поверхности валков сказывается на увеличении коэффициента трения. Однако специальные насечки или наплавки на поверхности валков влияют не на коэффициент трения, а на механические условия захвата, облегчая его за счет врезания выступов в деформируемый металл.

Химический состав металла влияет, как известно, на его физико-механические свойства, что, в свою очередь, сказывается на коэффициенте трения и пластичности, облегчая или затрудняя захват.

Факторы, влияющие на условия захвата, позволяют прибегать на практике к различным искусственным способам облегчения

захвата заготовки при прокатке. К числу этих способов относятся: принудительное заталкивание заготовки в валки, снижение скорости вращения валков, разведение валков, применение валков с насечками и др.

Рассмотренные замечания иллюстрируют сложность природы трения при практике. Несмотря на это, коэффициент трения f при данных условиях деформации принимают величиной постоянной. В частности при горячей прокатке без смазки коэффициент трения f составляет: для стали 0,30—0,45; для меди 0,24—0,34; для алюминия 0,30—0,50. При холодной прокатке без смазки f равен: для стали 0,25; для меди 0,23; для алюминия 0,25. С применением в качестве смазки машинного масла или керосина коэффициент трения для тех же металлов составляет: 0,12—0,16; 0,12—0,14; 0,09—0,13.

В табл. 1 приведены значения предельных углов захвата для различных случаев прокатки [60].

Таблица 1

Применяемые максимальные углы захвата

Способ прокатки	Угол захвата α	
	в градусах	π в радианах
Холодная прокатка со смазкой на хорошо отшлифованных валках	3—4	$\frac{1}{60} - \frac{1}{45}$
Холодная прокатка на более грубых валках	5—8	$\frac{1}{36} - \frac{2}{45}$
Горячая прокатка листов	15—22	$\frac{1}{12} - \frac{11}{90}$
Горячая прокатка сортового металла	22—24	$\frac{11}{90} - \frac{2}{15}$
Прокатка на валках с грубой насечкой или наваркой на поверхности	27—34	$\frac{27}{180} - \frac{17}{90}$

Опережение и отставание металла при прокатке

На практике замечено, что скорость выхода заготовки из валков v_h всегда больше, а скорость входа заготовки в валки v_k меньше окружной скорости валков v_0 . Эти явления называются соответственно опережением и отставанием.

Для экспериментального определения опережения по окружности валка наносят керном или засверливают небольшие отверстия. При прокатке полосы на ее поверхности от этих отверстий остаются отпечатки в виде выступов (бугорков). Если измерить расстояние между отверстиями по окружности валка l_0 и расстояние между выступами на полосе l_1 , то окажется, что длина l_1 больше длины l_0 (рис. 38).

Величину опережения S обычно определяют в процентах по формуле

$$S = \frac{v_h - v_o}{v_o} \cdot 100\% . \quad (51)$$

Или, что то же самое [если умножить числитель и знаменатель в формуле (51) на время t],

$$S = \frac{v_h t - v_o t}{v_o t} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% . \quad (52)$$

Выражением (52) пользуются при определении опережения опытным путем.

На опережение влияет ряд факторов: величина обжатия, диаметр валков, коэффициент трения, температура прокатки, род материала, переднее и заднее натяжение полосы и др. [5; 59].

С увеличением обжатия, диаметра валков, коэффициента трения и переднего натяжения полосы опережение растет. С падением температуры прокатки опережение увеличивается и составляет для стали при температуре 1150° около 0,7%, а при температуре 950° около 10% [59]. Каждой (определенной) температуре металла соответствует максимальная величина опережения, на которую дальнейшее увеличение обжатия не оказывает существенного влияния.

Влияние рода металла на опережение связано с коэффициентом трения: чем он больше, тем больше опережение.

С увеличением заднего натяжения полосы (со стороны входа в валки) и скорости прокатки опережение уменьшается. На основании явлений опережения и отставания можно написать неравенство $v_h > v_o > v_n$, из которого следует, что в очаге деформации существует такое сечение или граница между зонами отставания и опережения, где скорости движения заготовки и валков равны (рис. 38, нейтральное сечение $K-K$); влево от этого сечения скорость движения полосы уменьшается до v_n , вправо — увеличивается до v_h .

Указанное сечение называется *нейтральным* или *критическим*, положение его определяется углом γ_0 : $[\gamma_0 = \frac{\alpha}{2} (1 - \frac{\alpha}{2\beta})]$. Последние исследования советских ученых показывают, что при прокатке существует не только сечение, но и некоторая зона, имеющая одинаковую скорость с окружной скоростью валков; ее называют *зоной прилипания*.

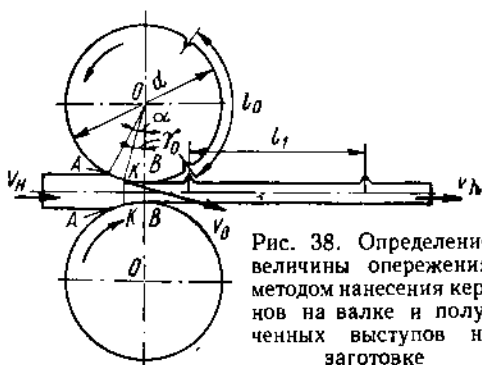


Рис. 38. Определение величины опережения методом нанесения кернов на валке и полученных выступов на заготовке

Уширение металла

Под уширением при прокатке понимают приращение ширины прокатываемого изделия Δb [38], рис. 35, б. Распределение уширения по ширине заготовки (полосы) с некоторым допущением можно считать равномерно увеличивающимся (при постоянном обжатии). Уширение в середине полосы равно нулю и максимально у ее краев [35].

На уширение влияет ряд различных факторов, основными из которых являются величина обжатия, диаметр валков, коэффициент трения, число пропусков, ширина полосы, толщина полосы, химический состав прокатываемого металла, температура нагрева, скорость прокатки, смазка, материал валков и чистота поверхности их, наличие натяжения и др. [5; 59].

С увеличением обжатия, диаметра валков, коэффициента трения и числа пропусков (для получения одного и того же обжатия) уширение растет. Увеличение ширины полосы, высоты полосы, повышение температуры нагрева, скорости прокатки, улучшение смазки и чистоты поверхности валков влияет на уширение в сторону ее уменьшения. С их увеличением уменьшается коэффициент трения, вследствие чего уширение также будет меньше. При прокатке листов и широких лент уширение относительно невелико, поэтому при расчетах им иногда пренебрегают. При прокатке сортового металла уширение составляет значительную величину от обжатия и поэтому его следует определять достаточно точно, так как в противном случае получится либо незаполнение калибра, либо заклинивание, что в обоих случаях приводит к браку.

Химический состав прокатываемого металла и валков влияет на уширение через коэффициент трения: с его повышением уширение увеличивается. Переднее и заднее натяжение полосы уменьшают уширение.

Для определения величины уширения предложены различные формулы.

Влияние вышеприведенных основных факторов на уширение наиболее полно учитывают формулы А. И. Целикова и А. И. Гришкова [58].

$$\Delta b = B_1 - B = 0,5c_b c_n \left(\sqrt{r(H-h)} - \frac{H-h}{2f} \right) \ln \frac{H}{h}, \quad (53)$$

где f — коэффициент трения, зависящий главным образом от рода прокатываемого металла и от температуры нагрева;

c_b и c_n — коэффициенты, учитывающие влияние ширины и натяжения полосы.

Коэффициент c_b определяют в зависимости от отношения $\frac{B}{\sqrt{r(H-h)}} = k_b$: при $k_b = 1,0$ $c_b = 1,0$; при $k_b = 2,5$ $c_b =$

$= 0,8$; при $k_b = 4,0$ $c_b = 0,6$; при $k_b = 5,0 \div 7,0$ $c_b = 0,55$. Коэффициент $c_n = 1 - \frac{2\sigma_0}{\sigma_d}$, где σ_0 — напряжение заднего натяжения; при $\sigma_0 = 0$ $c_n = 1,0$, а при $\sigma_0 \approx \sigma_d$ $c_n = 0$.

Удельное и общее (полное) давление металла на валки

При установлении режимов прокатки, подсчете работы прокатного стана, а также при проверке основных деталей стана на прочность требуется знать, какие силы действуют со стороны заготовки (полосы) на валки и другие детали стана. Для этого необходимо определить величину сопротивления металла деформации или удельное давление (сопротивление металла на поверхности его соприкосновения с валком) при прокатке и распределение его по дуге захвата. На удельное давление при прокатке помимо факторов, указанных в гл. 1, влияют переднее и заднее натяжения, которые, изменяя схему напряженно деформированного состояния, снижают его величину, и тем больше, чем больше натяжение.

Распределение удельного давления по дуге захвата при прокатке. Удельное давление распределяется по дуге захвата по определенному закону. Выяснение этого закона имеет большое значение для определения усилий, действующих на валки прокатного стана. Наиболее полно этот вопрос освещен в работах А. И. Целикова [58], который на основании решения плоской задачи теории пластичности получил эпюру распределения удельного давления по дуге захвата, изображенную на рис. 39. Из этого рисунка видно, что наибольшее удельное давление получается в нейтральном сечении; в точках А и В удельное давление будет наименьшим.

Определение величины удельного давления при прокатке. Среднее удельное давление при прокатке (для случаев работы без натяжения) p_{cp} наиболее точно можно определить по формуле А. И. Целикова [58].

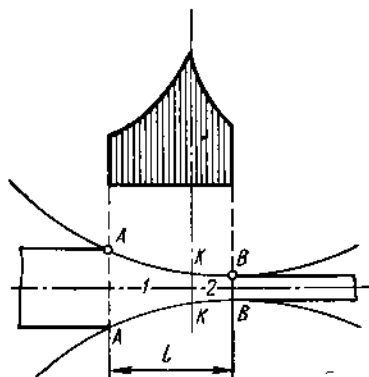


Рис 39. Эпюра распределения удельного давления по дуге захвата:

1 — зона отставания; 2 — зона опережения. К—К—нейтральное сечение

$$p_{cp} = 2k \frac{2h}{\Delta h (\delta - 1)} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{H}{h} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}} \times \left\{ \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{H}{h} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right] - 1 \right\} = \frac{2\sigma_d}{\sqrt{3}} n_\sigma \kappa \Gamma / \text{мм}^2 \left(\frac{M_n}{\text{мм}^2} \right), \quad (54)$$

где k — величина, учитывающая влияние на удельное давление механических свойств металла и условий деформации;

$$\delta = f \frac{2l}{\Delta h} \approx f \frac{2l_x}{H-h} = 2f \sqrt{\frac{r}{H-h}}.$$

Величина k для плоского деформированного состояния (во многих случаях прокатку рассматривают как двухмерную деформацию) может быть выражена зависимостью (стр. 34)

$$k = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} = \frac{\sigma_\partial}{\sqrt{3}} = 0,575 n_n n_m n_v \sigma_T, \quad (55)$$

где n_n , n_m , n_v — коэффициенты, учитывающие влияние на сопротивление деформации соответственно упрочнения металла, температуры и скорости деформации;

σ_T — предел текучести отожженного металла, определяемого в статических условиях, т. е. на обычных разрывных машинах;

$\sigma_s = \sigma_\partial$ — фактическое сопротивление металла простому сжатию или растяжению (с учетом наклепа, температуры и скорости).

Характер напряженного состояния (контактных сил трения, внешних зон натяжений и др.) учитывается в формуле (54) величиной $n_\sigma = 0,8 \div 8$; если натяжение отсутствует и влияние внешнего трения незначительно, $n_\sigma \approx 1,15$ [65, т. 8]. В формуле (54) коэффициент $\beta = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15$ учитывает влияние среднего нормального напряжения σ_2 , а n_σ — влияние напряжения σ_1 и σ_3 на удельное давление p_{cp} . При прокатке с натяжением в связи с уменьшением влияния внешнего трения удельное давление снижается на 10—20% ($n_\sigma = 0,8$).

При холодной прокатке применяемые скорости деформации не оказывают существенного влияния на сопротивление деформации. В этом случае влиянием скорости пренебрегают, т. е. принимают n_m и n_v равными единице. Но здесь оказывает влияние наклеп металла, который необходимо учитывать. Тогда

$$\sigma_\partial = n_n \sigma_T = \frac{\sigma_{T1} + \sigma_{T2}}{2 \sigma_T} \sigma_T,$$

где σ_{T1} и σ_{T2} — пределы текучести металла до и после прокатки.

При горячей прокатке можно пренебречь влиянием наклепа ($n_n = 1,0$), но при этом следует принять $\sigma_{T1} = \sigma_{T2} = \sigma_T = \sigma_{\sigma_i}$ (σ_{σ_i} — временное сопротивление разрыву металла при данной температуре). Однако при горячей прокатке необходимо учесть влияние скорости деформации на сопротивление деформации. Тогда $\sigma_\partial = n_m n_v \sigma_T = n_v \sigma_{\sigma_i}$.

Среднюю скорость деформации при прокатке v_{cp} можно определить по упрощенной формуле А. И. Целикова [58]

$$v_{cp} = \frac{v_h \Delta h}{lH} = \frac{v_h (H - h)}{\sqrt{r(H - h)} H} = \frac{v_h}{\sqrt{\frac{r}{H - h}} H} \text{ 1/сек}, \quad (56)$$

где v_h — скорость выхода заготовки из валков; v_h определяют через опережение S из зависимости

$$v_h = v_0 (1 + S) = \frac{\pi dn}{60} (1 + S) \text{ м/сек}. \quad (57)$$

Влияние скорости деформации учитывают с помощью коэффициента n_v , который берется по данным С. И. Губкина [9] в зависимости от скорости деформирования — скорости перемещения рабочего органа машины из следующих соотношений.

При $v_h = 10 \div 25 \text{ см/сек}$	$n_v = 1,2 \div 1,6$
При $v_h = 25 \div 75 \text{ см/сек}$	$n_v = 1,6 \div 2,0$
При $v_h > 100 \text{ см/сек}$	$n_v = 2,5$

Общее (полное) давление металла на валки. Полное давление металла на валки в $\kappa\Gamma$ (n) определяется по формуле

$$P = p_{cp} F_{\text{конт}}, \quad (58)$$

где p_{cp} — среднее удельное давление в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ ($\text{Мн}/\text{м}^2$), определяемое по формуле (54);

$F_{\text{конт}}$ — контактная площадь, представляющая собой проекцию поверхности соприкосновения металла с валком на плоскость, перпендикулярную к равнодействующей давления на валки, в мм^2 (м^2).

При прокатке профилей прямоугольного сечения (блужков, слябов, листов, ленты и др.), т. е. для случая контакта одного из валков с прокатываемым металлом по цилиндрической поверхности контактная площадь $F_{\text{конт}}$ (рис. 35) с достаточной для практики точностью может быть определена из выражения

$$F_{\text{конт}} = \frac{B + B_1}{2} l_x \approx \frac{B + B_1}{2} \sqrt{r(H - h)}. \quad (59)$$

Полное давление металла на валки для этого случая таково:

$$P = p_{cp} \frac{B + B_1}{2} \sqrt{r(H - h)}. \quad (60)$$

Если прокатку ведут в трехвалковых листовых станах с различным диаметром валков, то контактная площадь $F_{\text{конт}}$ подсчитывается по уравнению

$$F_{\text{конт}} = \frac{B + B_1}{2} \sqrt{\frac{2r_1 r_2}{r_1 + r_2} (H - h)}, \quad (61)$$

где r_1 и r_2 — радиусы валков.

Мощность стана и двигателя

Мощность стана определяют: 1) или из величины затрачиваемой работы на деформацию заготовки по известным формулам А. П. Гавриленко, Н. С. Верещагина, А. П. Виноградова, И. М. Павлова [35; 59]; 2) или по моменту прокатки M , используя формулы А. И. Целикова [58].

Первый метод чаще применяется при прокатке сортового металла прямоугольного сечения, где определение контактной площади $F_{\text{конт}}$ и давления на валки P представляет некоторую сложность.

При прокатке металла прямоугольного сечения предпочтительнее пользоваться вторым, наиболее точным методом.

Зная крутящий момент, мощность двигателя N можно определить по формуле

$$N = \frac{Mn}{716,2} \text{ л. с.}, \quad (62)$$

где n — число оборотов валков в минуту;

M — полный крутящий момент стана в кгм (дж), состоящий из суммы крутящих моментов, затрачиваемых на пластическую деформацию

Рис. 40. Направление равнодействующих сил, действующих на валки при прокатке

M_1 , на преодоление силы трения между металлом и валками (полезная сила трения) M_2 , на преодоление добавочных сил трения (в подшипниках валков и др.) M_3 и на холостой ход M_4 .

Момент прокатки M_{np} , являющийся суммой моментов $M_1 + M_2$, определяется по формуле

$$M_{np} = 2Pa = 2Pr \sin \beta_0, \quad (63)$$

где β_0 — угол, характеризующий точку приложения равнодействующей силы — давления металла на валки P (рис. 40):

при горячей прокатке $\frac{\beta_0}{\alpha} \approx \frac{a}{l} = 0,50$, т. е. $\beta_0 \approx 12^\circ \left(\frac{\pi}{15} \text{ рад} \right)$, при холодной прокатке $\frac{\beta_0}{\alpha} \approx \frac{a}{l} = 0,35 \div 0,45$, $\beta_0 \approx 3 \div 4^\circ \left(\frac{\pi}{60} \div \frac{\pi}{45} \text{ рад} \right)$.

Полный крутящий момент определяется с учетом статического к. п. д. стана $\eta_{ст} = 0,3 \div 0,9$ из зависимости

$$M = \frac{M_{np}}{\eta_{ст}}, \quad (64)$$

Пример. Определить давление металла на валки при прокатке заготовки, имеющей в начале квадратное сечение $HВ = 100 \cdot 100$ мм и длину $L = 1500$ мм, в конце прямоугольное сечение высотой $h = 70$ мм. Материал — мягкая сталь ($C = 0,15\%$), $\sigma_s = 40$ кг/мм² (400 Мн/м²); температура прокатки $t = 1150^\circ \text{C}$, $\sigma_{s_t} = 2,2$ кг/мм² (22 Мн/м²). Двухвалковый стан с диаметром валков $d = 2r = 530$ мм. Для таких станом угол захвата α составляет (по табл. 3) $22-24^\circ \left(\frac{11}{90} \div \frac{12}{90} \pi \text{ рад} \right)$; принимаем $\alpha = 24^\circ \left(\frac{12}{90} \pi \text{ рад} \right)$. Коэффициент полезного действия стана принимаем $\eta_{ст} = 0,6$.

Для определения давления металла на валки необходимо предварительно подсчитать уширение, контактную площадь и среднее удельное давление.

Уширение определяем по формуле (53)

$$\Delta b = 0,5 c_b c_n \left(\sqrt{r(H-h)} - \frac{H-h}{2f} \right) \ln \frac{H}{h}.$$

При $k_b = \frac{B}{\sqrt{r(H-h)}} = \frac{100}{\sqrt{265(100-70)}} = 1,12$ $c_b = 0,99$ $c_n \approx 1,0$.

Тогда

$$\Delta b = 0,5 \cdot 0,99 \cdot 1,0 \left(\sqrt{265 \cdot 30} - \frac{30}{2 \cdot 0,30} \right) \ln \frac{100}{70} = 7,1 \text{ мм},$$

откуда ширина полосы после прокатки B , будет $B + \Delta b = 100 + 7,1 = 107,1$ мм. Тогда контактная площадь

$$F_{\text{конт}} = \frac{B + B_1}{2} \sqrt{r(H-h)} = \frac{100 + 107,1}{2} \times \sqrt{265 \cdot 30} = 9250 \text{ мм}^2.$$

Среднее удельное давление $p_{ср}$ определяем по формуле А. И. Целикова (54). Для этого необходимо предварительно подсчитать δ . Приняв коэффициент трения $f = 0,30$, получаем

$$\delta = 2f \sqrt{\frac{r}{H-h}} = 2 \cdot 0,30 \sqrt{\frac{265}{100-70}} = 1,78.$$

Определяем также и величину $2k$ из зависимости (предварительно без учета влияния скорости деформации)

$$2k = 1,15 \sigma_{s_t} = 1,15 \cdot 2,2 = 2,5 \text{ кг/мм}^2 \text{ (25 Мн/м}^2\text{)}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} p_{ср} &= 2k \frac{2h}{\Delta h (\delta - 1)} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{H}{h} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}} \times \\ &\times \left\{ \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{H}{h} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right] - 1 \right\} = \\ &= 2,5 \frac{2 \cdot 70}{30(1,78 - 1)} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (1,78^2 - 1) \left(\frac{100}{70} \right)^{1,78}}}{2,78} \right]^{\frac{1}{1,78}} \times \\ &\times \left\{ \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (1,78^2 - 1) \left(\frac{100}{70} \right)^{1,78}}}{2,78} \right] - 1 \right\} = \\ &= 2,5 \frac{2 \cdot 70}{23,5} \cdot 1,09 \cdot 0,17 = 2,78 \text{ кг/мм}^2 \text{ (27,8 Мн/м}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Для определения средней скорости деформации по формуле (56) предварительно определяем скорость выхода металла из валков v_h , задавшись опережением S .

При температуре прокатки $t = 1150^\circ \text{C}$ $S = 3\%$ (0,03). По формуле (57)

$$v_h = v_0 (1 + S) = \frac{\pi d n}{60} (1 + S) = \frac{3,14 \cdot 530 \cdot 53}{60} 1,03 = 1470 \text{ мм/сек} = 1,47 \text{ м/сек};$$

$$v_{cp} = \frac{v_h}{\sqrt{\frac{r}{H-h} H}} = \frac{1470}{\sqrt{\frac{265}{30} 100}} = 4,94 \text{ 1/сек.}$$

При такой скорости деформации можно принять коэффициент скорости $n_d = 2,0$, тогда $p_{cp} = 2,0 \cdot 2,78 = 5,56 \text{ кг/мм}^2$ ($55,6 \text{ Мн/м}^2$).

Давление металла на валки по формуле (60) будет равно

$$P = p_{cp} \frac{B + B_1}{2} \sqrt{r(H-h)} = 5,56 \cdot 9250 = 51\,400 \text{ кг} \text{ (514 000 н)}.$$

Момент прокатки определяется по формуле (63)

$$M_{np} = 2Pr \sin \beta_0 = 2 \cdot 51\,400 \cdot 265 \cdot \sin 12^\circ = 5570 \text{ кгм} \text{ (55 700 дж)},$$

а полный крутящий момент стана по формуле (64)

$$M = \frac{M_{np}}{\eta_{cm}} = \frac{5570}{0,6} = 9300 \text{ кгм} \text{ (93 000 дж)}.$$

На основании этой формулы можно определить мощность двигателя N , приняв число оборотов валков стана $n = 53$ в минуту, которая будет равна по формуле (62)

$$N = \frac{Mn}{716,2} = \frac{9300 \cdot 53}{716,2} = 685 \text{ л. с.} \approx 503 \text{ кат.}$$

§ 10. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ СОРТОВОГО И ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Продукция прокатного производства и сортамент

Продукция прокатного производства. Продукция прокатного производства имеет очень широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Она используется в виде заготовок различного профиля для изготовления деталей машин, станков, тракторов, автомобилей, паровозов, вагонов, железнодорожных путей; для строительства зданий, мостов и других сооружений. Указанные машины и сооружения изготавливаются из прокатных черных и цветных металлов и их сплавов.

Сортамент прокатных профилей. Профилем проката называется форма его поперечного сечения, сортаментом — совокупность профилей с различными размерами, получаемых прокаткой на одном стане или на группе станов. Сортамент прокатываемых профилей весьма разнообразен. Его разделяют на пять основных групп: 1) сортовой прокат; 2) листовой прокат; 3) трубы; 4) специальные виды проката (колеса, бандажи, кольца и др.); 5) периодический прокат.

Профиль сортового металла разделяют на две группы: простой геометрической формы (квадратная, круглая и полосовая сталь)

и сложной — фасонной формы (двутавровые балки, швеллеры, зетовая сталь, рельсы и др.).

Листовой прокат (сталь) разделяют на толстолистовую сталь (толщиной более 4 мм), тонколистовую (толщиной менее 4 мм) и широкополосную, или универсальную сталь. Листы толщиной от 3 до 8 мм часто называют листами средней толщины. Толстолистовая сталь имеет ширину от 600 до 5000 мм при толщине от 4 до 160 мм и длине от 4 до 12 м. Броневые плиты имеют ширину до 4500 мм и толщину до 550 мм.

Тонколистовая сталь имеет ширину от 500 до 2500 мм, толщину от 0,20 до 3,75 мм и длину от 700 до 4000 мм. Листы (лента) толщиной меньше 0,20 мм носят название фольги. Листы должны быть с обрезанными кромками. Электротехническая, динамная и трансформаторная стали имеют ширину 750 и 1000 мм и толщину от 0,35 до 1,0 мм.

Широкополосная, или универсальная сталь имеет ширину от 200 до 1500 мм при толщине от 4 до 60 мм.

Тонкие листы изготавливаются из различных сталей как углеродистых, так и легированных. Листы конструкционной качественной стали, идущие на изготовление деталей автомобилей, тракторов, различных резервуаров, газовых плит, холодильников и т. п. могут быть горячекатаными и холоднокатаными (в основном холоднокатаными). Эти листы должны обладать способностью к штамповке — вытяжке в холодном состоянии. В зависимости от степени способности к вытяжке их подразделяют на листы нормальной вытяжки Н, глубокой вытяжки Г и весьма глубокой вытяжки ВГ.

Тонкие стальные ленты изготавливаются шириной от 20 до 2500 мм и длиной до 300 м в зависимости от толщины.

Трубы стальные подразделяются на две группы: бесшовные с диаметром от 25 до 600 мм и сварные — встык, внакладку и холоднопрофилированные — с диаметром от 10 до 1400 мм.

Периодический прокат представляет собой заготовку, поперечное сечение которой не остается одинаковым по форме и площади, а периодически изменяется (см. рис. 58).

Цветные металлы и их сплавы прокатываются преимущественно на простые профили — квадратный, круглый, полосовой (прямоугольный) в виде листов и лент различных размеров: по толщине от 0,2 до 25—30 мм, по ширине — листы до 3000 мм, ленты до 600 мм (и больше); по длине — листы до 6 м, ленты до 300 м и больше в зависимости от толщины.

Общие принципы прокатки и калибровки прокатных валков

Простые и фасонные профили самых различных сечений и размеров прокатываются из слитков и заготовок, имеющих круглую, квадратную, прямоугольную и многогранную форму. Наибольшее применение получили слитки и заготовки квадратной и прямо-

угольной формы. Вес слитков, применяемых для прокатки, может колебаться от 100 кг до 50 т и больше; он определяется родом материала, типом и конструкцией станков, на которых они прокатываются, а также назначением слитков.

Обычно прокатка сортового и листового металла из слитков и заготовок производится за несколько проходов — пропусков. При каждом пропуске площадь поперечного сечения прокатываемого металла уменьшается, а его форма и размеры постепенно приближаются к требуемому профилю.

Прокатка толстых и тонких листов, а также широких лент производится на станах с гладкими валками. Прокатка простых

и фасонных профилей (фасонно-сортового металла) производится на станах с калиброванными валками.

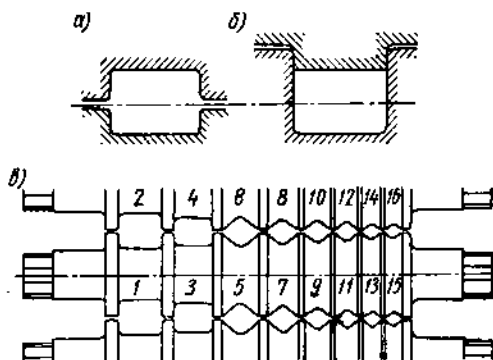


Рис. 41. Прокатные валки, виды калибров и ручьев

Калибры образуются вырезами, сделанными в двух примыкающих друг к другу и совместно работающих валков (рис. 41, в). Профиль выреза в одном валке называют *ручьём*. Калибры бывают открытые (рис. 41, а) и закрытые (рис. 41, б). У открытых калибров линия разреза валков находится в пре-

делах калибра, а у закрытых — вне его пределов.

Калибры прокатных валков, через которые пропускается металл, по своему поперечному сечению отвечают той форме профиля, которая должна получаться при каждом пропуске. Таким образом, для получения профиля какого-либо изделия — проката необходимо предварительно калибровать валки, т. е. определить форму и рассчитать размеры последовательных калибров. Калибровка является самым важным и трудным вопросом прокатного дела, вследствие сложности процесса деформации металла при прокатке. От правильности расчета и выбора формы последовательных калибров зависит качество прокатываемого профиля.

Процесс производства изделия в прокатном цехе разделяется на две основные стадии: 1) получение из слитка заготовки; 2) получение из заготовки на сортовых станах готового изделия. В отдельных случаях готовую продукцию получают непосредственно из слитков.

Прокатка слитков или заготовок производится последовательно в калибрах следующих типов: обжимных или вытяжных; черновых или подготовительных; предотделочных или предчистовых;

отделочных или чистовых. В ряде случаев предотделочные или предчистовые калибры отсутствуют.

По форме обжимные калибры бывают (рис. 41, в): прямоугольные (ящичные) 1—4, квадратные 5—6, ромбические 7—16, овальные и квадратные [8; 60]. Обжимные калибры служат главным образом для повышения качества металла и придания грубой формы прокатываемому профилю; черновые (подготовительные) — для постепенной подготовки заготовки под требуемый чистовой про-

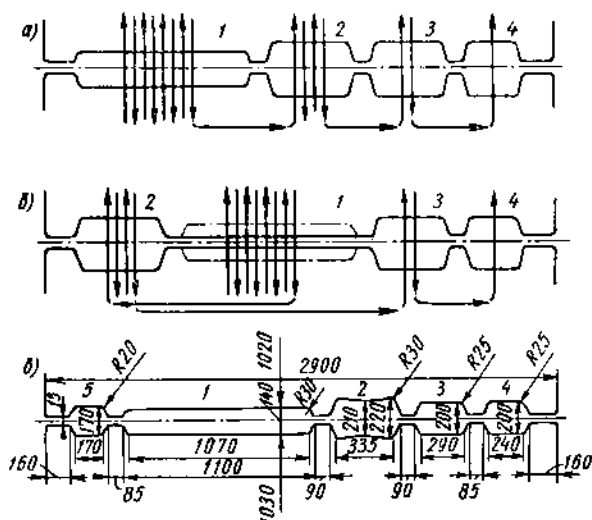


Рис. 42. Схема прокатки и размещения калибров в блюмингах

филь, поэтому их форма постепенно приближается к очертанию требуемого профиля. Предотделочные и отделочные калибры служат для отделки размеров профиля и его поверхности. Чередующееся сочетание калибров получило название с и с т е м ы к а л и б р о в (например, ромб—квадрат, овал—квадрат, ромб—ромб и т. д.).

Прокатка заготовок (блюмов) для сортового профиля на блюмингах. Прокатка слитков производится на крупных обжимных (заготовочных) станах, носящих название б л ю м и н г о в. Получающиеся после прокатки на блюмингах заготовки квадратного или прямоугольного сечения называются б л ю м а м и; они являются полуфабрикатом для дальнейшей прокатки на станах тех или иных изделий сортового профиля. Размеры блюмов составляют от 450×450 до 150×150 мм.

Существует два способа калибровки валков блюминга — последовательный и симметричный [14; 60]. При первом способе калибры 1, 2, 3 и 4 расположены по всей длине валков (рис. 42, а) в соответствии с порядком пропуска через них заготовки. На

краю валков со стороны привода расположен широкий калибр — обжимной, в котором слиток обжимают, пропуская его туда и обратно 8—10 раз (как показано на рисунке стрелками), затем заготовка последовательно прокатывается в других калибрах (2, 3 и 4) — во втором четыре раза, в третьем два раза и в последнем один раз. Заготовка передается из калибра в калибр в одном направлении; встречных перемещений не имеется.

При калибровке валков по второму способу в средней части валка находится гладкая бочка или широкий калибр, в котором заготовка обжимается 8—10 раз; остальные калибры расположены по сторонам (рис. 42, б). Подобное расположение создает некоторую симметрию в нагрузке на опоры валков, однако вследствие встречных перемещений заготовки производительность блюминга несколько снижается. Такие валки обычно применяются при прокатке на блюминге заготовок для листа. Пример калибровки валков блюминга, имеющего диаметр валков 1150 мм, приведен на рис. 42, в.

Прокатка слитков на заготовки-бюмы из мягкой стали производится за 12—15 пропусков, а из твердой стали — за 15—18 пропусков. Производительность блюминга 2,0—2,5 млн. т проката в год. Прокатка на блюминге происходит с обжатием в двух взаимно перпендикулярных направлениях, для чего необходимо кантование (поворачивание) слитка, которое производят тогда, когда ширина его становится в 1,5—2 раза больше толщины. При кантовании слиток становится на ребро и в этом направлении за несколько пропусков вновь доводится до такой толщины, когда она (толщина) в 1,5—2 раза становится меньше ширины и т. д.

Прокатка и принципы калибровки валков для получения изделий круглого и квадратного сечения. Сортамент круглого и квадратного профиля весьма широк благодаря большому разнообразию его применения. Изделия квадратного сечения (из стали) прокатываются со стороной квадрата от 6 до 200 мм и больше, круглого сечения — от 5 до 300 мм в диаметре. Размеры (диаметры) от 5 до 9 мм соответствуют проволоке, прокатываемой на проволочных станах (катанка); интервал их размеров через 0,5 мм. Размеры изделий от 8 до 380 мм прокатываются на мелкосортных станах с интервалом через 1 и 2 мм; от 38 до 100 мм — на среднесортных станах с интервалом через 2—5 мм и от 80 до 200 мм — на крупносортных станах с интервалом через 5 мм. Более крупные размеры изделий прокатываются на рельсобалочных станах.

Наиболее удобными для прокатки круглого профиля являются овальные калибры, чередующиеся с квадратными по системе квадрат—овал—квадрат (рис. 43, а) либо по системе квадрат—ромб—квадрат (рис. 43, б); в обоих случаях квадратные калибры в валках расположены на ребре. Подобное распределение и чередование калибров способствует лучшему обжатию и проработке всех слоев прокатываемого металла.

При прокатке изделий круглого сечения диаметром от 5 до 20 мм исключительное применение получила система чередующихся калибров квадрат — овал (рис. 43, а). Прокатка круглой стали диаметром более 20 мм производится в калибрах, чередующихся по системе квадрат—ромб (рис. 43, б). В обеих системах общими являются три последних калибра: предотделочный квадрат, предотделочный овал и отделочный чистовой круг. Так как прокатка производится в горячем состоянии, то для получения изделия тре-

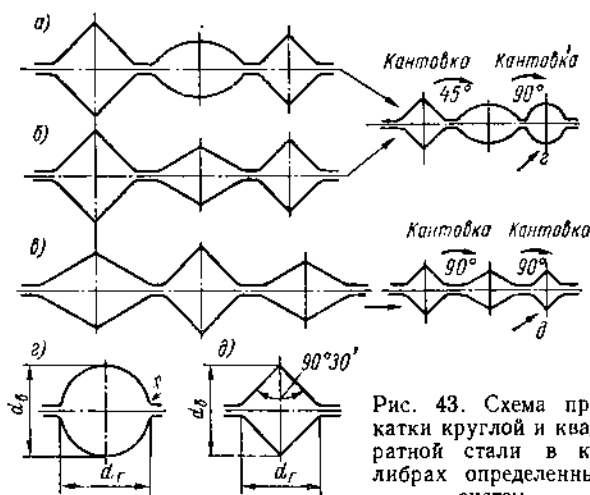


Рис. 43. Схема прокатки круглой и квадратной стали в калибрах определенных систем

буемого диаметра d_x (измерение которого производится в холодном состоянии) размеры чистового калибра следует откорректировать с учетом усадки.

В связи с большим охлаждающим действием валков в вертикальном направлении температурная усадка вертикального диаметра меньше, чем горизонтального. Корректирование размеров чистого калибра обеспечивается, если вертикальный диаметр калибра принять $d_v = 1,01 d_x$, а горизонтальный $d_g = 1,02 d_x$.

Зазор между валками в зависимости от диаметра калибра принимается в пределах от 1 до 5 мм; радиус закругления углов валков у зазора r составляет $0,1 d_x$ (рис. 43, г).

Прокатку изделий квадратного сечения производят в чередующихся калибрах системы ромб—квадрат (рис. 43, в). Эта система чаще всего применяется для прокатки квадратного профиля размером больше 12 мм. Калибровку начинают с определения размеров чистового калибра с учетом неодинаковой температурной усадки в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для этого угол при вершине чистового калибра принимается равным $90^\circ 30'$, или $\frac{181}{360} \pi$ рад (рис. 43, д). Тогда вертикальная диагональ

чистового калибра $d_a = 1,41 c_{гор}$, а горизонтальная $d_z = 1,42 c_{гор}$, где $c_{гор}$ сторона квадрата в нагретом состоянии, равная $1,013 c_x$.

Профиль, вышедший из такого калибра, при остывании будет иметь точную квадратную форму. Углы чистового квадратного калибра не закругляются. Зазор между валками принимают равным от 1,5 до 3,0 мм.

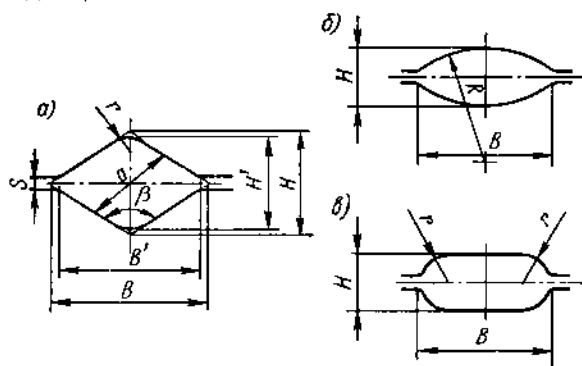


Рис. 44. Форма вытяжных калибров

На рис. 44 приведены формы и размеры вытяжных калибров. При системе ромб—квадрат, угол у вершины ромба берется в пределах $\beta = 100 \div 130^\circ$, в среднем $\beta \approx 120^\circ$ (рис. 44, а). При системе квадрат—овал, овальный калибр часто строят одним радиусом R (рис. 44, б); отношение ширины овала B к его высоте H припи-

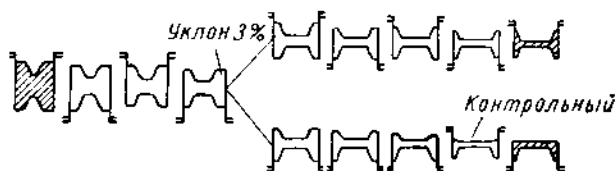


Рис. 45. Схема прокатки двутавровых балок и швеллеров

мается 1,1—3,5, а иногда и выше [38, 51]. Применяются также калибры и с плоским овалом (рис. 44, в). В них удобнее удерживается заготовка при прокатке в последующем калибре.

Прокатка и принцип калибровки валков для получения изделий с фланцевым профилем. К изделиям с фланцевым профилем относятся: двутавровые балки, швеллеры, рельсы, тавровая и зетовая сталь и т. п.

Прокатку крупных балок и швеллеров производят из слитков и блюмов на рельсобалочных дуо-реверсивных станах и на трехвалковых станах (трио-станах); прокатку балок и швеллеров средних и малых размеров осуществляют на трехвалковых станах из блюмов и заготовок большей частью квадратного сечения.

Прокатка балок из блюмов имеет существенные преимущества по сравнению с прокаткой их из слитков. Подобными преимуществами являются: получение более короткой полосы и осуществление прокатки при более высокой температуре, вследствие чего можно получить балки и швеллеры с более тонкими стенками и с меньшими остаточными напряжениями. Износ калибров при этом также уменьшается. Прокатку двутавровых балок и швелле-

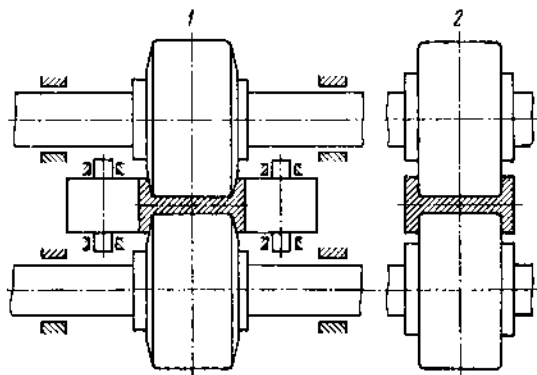


Рис. 46. Универсальная клеть для прокатки широкополочных балок:

1 — главная клеть; 2 — вспомогательная клеть

ров в зависимости от их размеров производят в восьми-одиннадцати калибрах (рис. 45), размещенных в двух-трех клетях дуо-реверсивного стана. Широкополочные балки, имеющие размеры от 100 до 1200 мм по высоте и до 400 мм по ширине полки, прокатывают с двух нагревов на блюминге и на станах, снабженных двумя парами специальных клетей (рис. 46). После прокатки балочные полосы нормального типа разрезаются на части в горячем состоянии на пилах. Разрезка же на мерные полосы (стандартная длина 12,5 м) производится в холодном состоянии на пилах или на ножницах с профильными ножами, после чего балки подвергаются правке на правильных машинах и механических прессах.

Прокатка листов

Прокатка толстых листов. Толстые листы прокатывают двумя способами: 1) в один нагрев — непосредственно из слитков; и 2) в два нагрева по схеме: слиток—сляб—толстый лист, т. е. при первом нагреве слиток предварительно прокатывают на крупном обжимном стане—слябинге или блюминге с широким калибром — на прямоугольную заготовку-сляб, который после второго нагрева прокатывают на листовом стане в толстый лист.

В целях уменьшения анизотропии механических свойств слитков или сляб раскатывают в продольном и поперечном

направлениях, а иногда и на угол (вдоль диагонали). Вес слитка для прокатки толстых листов достигает 8 т и более.

Большое распространение при прокатке толстых листов из слывов получили трехвалковые станы с неприводным плавающим средним валком. В этих станах средний валок имеет меньший диаметр, чем верхний и нижний валки. При прокатке он попеременно прижимается то к верхнему, то к нижнему валку. Наличие среднего валка меньшего диаметра позволяет работать с повышенной вытяжкой. Эти станы комбинируют с дуо-реверсивными в общий так называемый тандем-стан.

Для получения чистой поверхности листов необходимо тщательно удалять образовавшуюся окалину. На одно- и на двух-клетевых станах окалину удаляют с помощью сильной струи воды под давлением от 60 до 90 ат, в результате чего окалина растрескивается, а образовавшийся пар, разрушая ее, отрывает от поверхности листа. На полунепрерывных и непрерывных станах для удаления окалины помимо гидравлического способа применяют и механический — надламывание окалины рифленными валками в окалиноломателях.

После горячей прокатки толстые листы подвергаются отделочным операциям: правке, обрезке на заданные размеры, чистке и термообработке.

Прокатка тонких листов. Тонкие листы прокатывают в горячем и холодном состоянии. В горячем состоянии тонкие листы прокатываются двумя способами: на двухвалковых станах (дуо-станах) и на непрерывных станах.

Листы на двухвалковых станах прокатывают из сутунки (тонкая прямоугольная плоская заготовка толщиной 6—12 мм). Из одной сутунки на таких станах дуо можно прокатать лист толщиной до 2 мм. Более тонкие листы в одиночку прокатать очень трудно, так как при прокатке за счет упругих деформаций частей стана между валками образуется зазор до 1,5—2,5 мм. Поэтому прокатку листов тоньше 2,0—1,5 мм производят путем складывания нескольких раскатов в один пакет.

При горячей прокатке на непрерывных станах тонкая лента в одну толщину сматывается в рулоны. Благодаря этому указанный способ прокатки называется **рулонным методом**. При этом методе прокатки обеспечиваются лучшие механические свойства листов, более равномерная толщина их по ширине и длине, лучшее качество поверхности, более высокий выход годного листа и большая производительность, благодаря чему в настоящее время он получил наибольшее распространение. Скорость прокатки в каждой клети стана постепенно увеличивается и в последней клети она доходит до 8—10 м/сек. Ленты, сматанные в рулоны, передаются в цех холодной прокатки для окончательной их обработки. Если нет необходимости в дополнительной холодной прокатке полос-лент, то они после горячей прокатки сразу поступают на

холодильные установки, где после охлаждения их режут летучими ножницами на мерные длины листов или ленты. Разрезанные листы затем поступают в специальное пакетирующее устройство.

Производительность непрерывного листового стана составляет около 800 тыс. *т* в год.

Холодная прокатка листов и лент. С помощью холодной прокатки получают тонкие листы с высоким качеством поверхности, с высокой точностью по толщине (с допуском менее $\pm 0,01$ мм) и высокими технологическими свойствами (например, способностью к глубокой вытяжке).

Технологический процесс изготовления тонких листов и лент состоит из четырех основных этапов:

I — подготовка поверхности горячекатаных листов или рулонов к холодной прокатке, заключающаяся в их термической обработке и травлении с целью удаления окалины;

II — прокатка листовым или рулонным способом в несколько пропусков с промежуточной термообработкой для снятия наклепа.

Листовой способ в основном производится на двухвалковых станах, а рулонный — на четырехвалковых, причем последний ведется с передним и задним натяжением;

III — термообработка листов или рулонов на заданные механические свойства, осуществляющаяся в колпаковых или камерных печах с защитной атмосферой;

IV — отделка готовых листов и лент. Отделка заключается в травлении (если термообработка производилась без защитной атмосферы), полировке (механической или электрической), окончательной обрезке и дрессировке — подкатке с обжатиями в 0,5—1,5% с целью предотвращения образования линий сдвига при последующей холодной штамповке.

Особенности прокатки цветных металлов и их сплавов

Вес слитков из цветных металлов и их сплавов, подвергающихся прокатке, колеблется от 50 до 1000 кг, а иногда достигает 2500—3000 кг. Перед прокаткой слитки обтачиваются или фрезеруются с целью удаления поверхностных дефектов. Слитки большинства цветных металлов прокатываются в горячем состоянии. Однако такие цветные сплавы как свинцовистые латуни и бронзы, выплавляемые в виде небольших слитков, подвергаются прокатке только в холодном состоянии, так как в горячем состоянии они разрушаются.

Качество горячего проката из цветных металлов и сплавов зависит от соблюдения температуры и условий нагрева. Так, например, медь следует нагревать в окислительной атмосфере печи до температуры 850—930°, так как восстановительная атмосфера печи придает меди хрупкость. Медно-цинковые сплавы — латуни марок Л62, Л68 и Л80 нагреваются так же, как и медь в окислительной атмосфере (до 800—870°), и прокатываются до температуры

не ниже 650° . Степень обжатия меди допускается до 70—80%, а латуней до 65—70% [60].

Чистый никель нагревается до температуры $1200\text{—}1230^{\circ}$, при которой прокатка производится с обжатиями в 80—95%.

Цинк прокатывают в горячем состоянии при температуре не выше 180° , так как при более высокой температуре пластичность цинка резко снижается.

Алюминий в чистом виде обладает очень высокими пластическими свойствами. Его можно обрабатывать давлением в горячем и в холодном состоянии. При горячей прокатке алюминий нагревают до 480° . В холодном виде он допускает обжатие за один пропуск свыше 70%. Так как алюминий мало упрочняется, то можно осуществить холодную прокатку его с суммарным обжатием, достигающим до 97%. Наличие в алюминии примесей — железа и кремния (до 1%) — снижает его пластичность.

Дуралюмин подвергается обработке давлением в горячем и в холодном состоянии. Горячая прокатка дуралюмина производится при 450° и ниже. Так как дуралюмин при горячей прокатке склонен к трещинообразованию, то перед прокаткой его подвергают гомогенизации при $350\text{—}420^{\circ}$ в течение 18—24 ч, благодаря чему пластичность дуралюмина повышается. Для предохранения от прилипания дуралюмина к валкам их смазывают эмульсией. При холодной прокатке суммарное обжатие (до отжига для снятия наклепа) достигает 80%.

Цветные металлы и их сплавы прокатываются преимущественно на простые профили — круглый, квадратный, полосовой (прямоугольный) — и в виде листов и лент различных размеров.

Титановые сплавы производятся в виде листов, полос, лент, профилей, труб и проволоки. Прокатка титановых сплавов производится в горячем, теплом и в холодном состоянии.

Весьма ответственным звеном технологического процесса прокатки титановых сплавов является нагрев. Максимальная температура нагрева титановых сплавов $1000\text{—}1100^{\circ}$. Нагрев может осуществляться в любых печах, однако из-за большой химической активности титана при этих температурах нагрев лучше производить ускоренными способами, например индукционным [3]. Благодаря большой скорости нагрева газонасыщение поверхностных слоев заготовок сводится к минимуму, тем самым повышается качество проката.

Листы толщиной 5 мм и более изготавливаются теплой и горячей прокаткой, а листы толщиной менее 2 мм — только холодной. Горячую прокатку титановых сплавов производят с обжатиями от 20 до 40% за пропуск, а холодную от 12 до 20%.

В последнее время появилась возможность получать прокаткой титановую фольгу толщиной до 0,01 мм. Прокатка такой фольги производится рулонным способом в холодном состоянии на четырехвалковых станах.

**§ 11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОКАТКИ
СОРТОВОГО И ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА.
УСТРОЙСТВО И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ**

Основные элементы прокатного стана

Прокатный стан состоит из трех основных частей: рабочей машины, передаточного механизма и двигателя (рис. 47).

В состав рабочей машины входят одна или несколько рабочих клетей. В свою очередь, каждая рабочая клеть состоит из прокатных валков 2, вращающихся в подшипниках, расположенных в двух вертикальных стойках станины 1. Изменение расстояния между валками производится с помощью нажимного механизма.

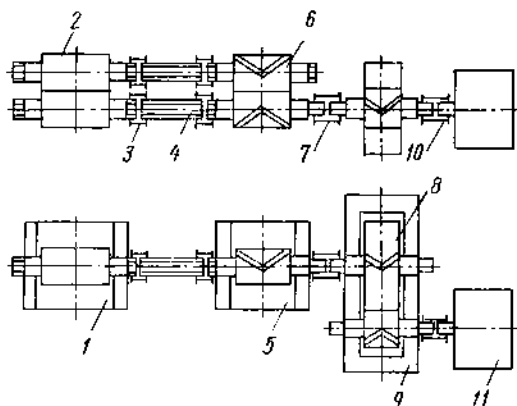


Рис. 47. Схема двухвалкового прокатного стана

Обычно у крупных станов также имеется уравнивающий механизм, служащий для поддержания и подъема верхнего валка и прижатия подушки к торцу нажимного винта.

Прокатный стан приводится в движение от электродвигателя 11. Для передачи вращения от вала двигателя к рабочим валкам 2 стана применяется шестеренная передача 6, образующая так называемую шестеренную клеть 5. Между шестеренной клетью и электродвигателем находится редуктор 9, состоящий в большинстве случаев из двух цилиндрических шестерен 8 и служащий для снижения числа оборотов рабочих валков.

Соединение шеек зубчатых колес с валами двигателя и стана осуществляется при помощи муфт 3, 7, 10 и соединительных шпинделей 4 с треновым сечением; в мощных станах соединение производится универсальными шпинделями с шарниром Гука.

Современные прокатные станы оснащены вспомогательными механизмами, при помощи которых достигается полная механизация процесса прокатки.

Классификация прокатных станов

Прокатные станы можно классифицировать по следующим основным признакам: 1) по назначению — по роду выпускаемой продукции или сортаменту; 2) по расположению, количеству и характеру вращения валков в рабочей клетке; 3) по расположению рабочих клеток в общей схеме стана [59; 65, Т. 8].

1. В зависимости от вида выпускаемой продукции различают обжимные станы (блужинги, слябинги), заготовочные, рельсобалочные, сортовые (крупносортовые, средне- и мелкосортовые), проволочные (для изготовления катанки), листопрокатные (для толстых, средних и тонких листов), трубопрокатные, колесо- и бандажепрокатные и станы для специальных видов проката.

Размер блужингов, заготовочных, рельсобалочных и сортовых станов характеризуется диаметром валков; размер слябингов и листовых станов характеризуется длиной гладкой рабочей части валков, а размер трубопрокатных станов характеризуется наружным диаметром прокатываемых труб.

Рис. 48. Схема расположения валков в двухвалковом и трехвалковом станах

ными валками, с вертикальными валками, с горизонтальными и вертикальными валками и с косо расположенными валками. В зависимости от количества валков в рабочей клетке станам и характера их вращения они разделяются на несколько типов.

Двухвалковые станы (дуо-станы) имеют в каждой клетке по два вала (рис. 48). В зависимости от характера вращения валков они могут быть нереверсивные (48, а) — с вращением валков в одном направлении — и реверсивные (48, б) — с переменой направления вращения для осуществления прокатки в обе стороны. Реверсивные двухвалковые станы применяются для прокатки крупных профилей и толстых листов, производимых на блужингах, слябингах, рельсобалочных, толстолистовых и других станах. Нереверсивные дуо-станы применяются для непрерывной прокатки заготовок и сортового металла, тонких листов и ленты, а также для прокатки труб.

Трехвалковые станы (трио-станы) имеют в каждой рабочей клети по три вала (рис. 48, в, г) с постоянным направлением вращения. Прокатываемая заготовка в одну сторону проходит между средним и нижним валком, а в обратную сторону — между верхним и средним. Для подъема заготовки в верхнюю пару валков на станах имеются особые устройства — подъемные столы. Эти станы служат для прокатки средне- и мелкосортowego металла. Станы с перемещающимся неприводным средним валком (рис. 48, г) применяются для прокатки толстых листов.

Многовалковые станы, к которым относятся четырехвалковые (кварто-станы — рис. 49, а), шестивалковые (сексто-станы — б),

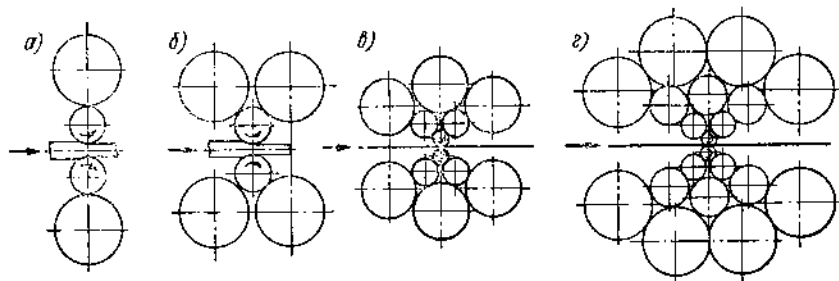


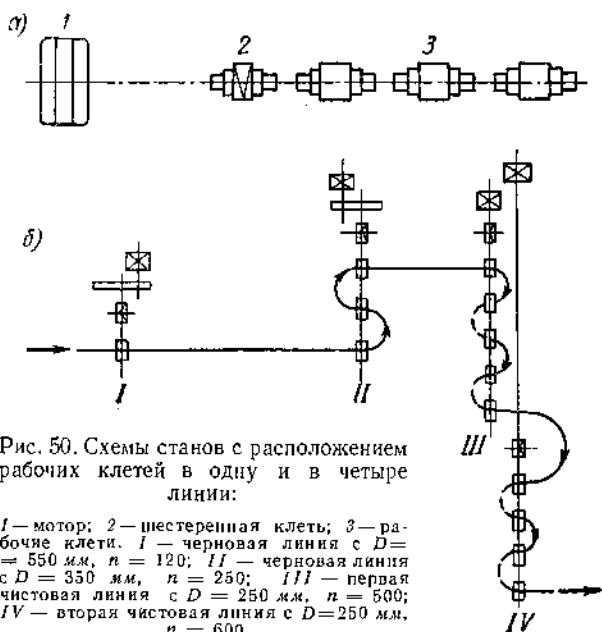
Рис. 49. Схема расположения валков в многовалковых станах

двенадцативалковые (в) и двадцативалковые (г), имеют два рабочих валка, а остальные являются поддерживающими — опорными, вращающимися от трения. В четырех- и шестивалковых станах приводными являются только рабочие валки, в других многовалковых станах приводными являются опорные валки. Такие конструкции позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается давление металла на валки. Четырехвалковые станы используются для горячей и холодной прокатки листов, широких полос и лент, все же остальные — исключительно для холодной прокатки тонких листов и лент.

Помимо указанных станов применяются универсальные станы, у которых кроме горизонтальных валков имеются также и вертикальные, расположенные с одной или с обеих сторон горизонтальных валков. Дополнительные вертикальные валки производят боковое давление, обеспечивают получение прямоугольного профиля с ровными и чистыми кромками. Изменяя расстояние между валками, можно получить на стане любой прямоугольный профиль, вследствие чего указанные станы и получили название у н и в е р с а л ь н ы х. Эти станы применяются для прокатки листовой заготовки — слябов и широких длинных полос (шириной более 200 мм), а также для прокатки широкополочных двутавровых балок высотой от 300 до 1200 мм.

3. Обычно станы состоят из нескольких рабочих клеток, которые в зависимости от выполняемой в них работы разделяются на обжимные, черновые и чистовые (отделочные). В случае прокатки из небольших блюмов обжимные клетки в станах отсутствуют.

Черновые и чистовые клетки в сортовых станах основную работу производят при прокатке профиля (полосы), а отделочную — уже после придания ему окончательной формы. В зависимости от



размеров и формы прокатываемого профиля (полосы) черновые и чистовые клетки располагаются в том или ином порядке, который можно свести к нескольким группам станов: периодические, непрерывные, полунепрерывные и тандем-станы (для листового проката) [11; 35; 59].

Периодические станы. У периодических станов клетки расположены в одну (рис. 50, а) или несколько линий; в каждой линии все валки связаны соединительными шпинделями и вращаются с одной скоростью. Заготовка периодически пропускается в одну клетку, затем в другую и т. д. Подобное расположение клеток представляет большое неудобство, так как черновые клетки, выполняющие подготовительное обжатие толстых и коротких заготовок, требуют меньшей скорости вращения, чем чистовые клетки, придающие тонкой и вытянутой в длину заготовке окончательный профиль. Поэтому в современных станах рабочие клетки распо-

лагаются в несколько линий. Например, у крупносортовых станов рабочие клетки располагаются обычно в две, три или четыре линии (рис. 50, б). Черновая клетка при таком расположении выделена в отдельную линию. Каждая линия имеет самостоятельный привод с числом оборотов валков, соответствующим прокатываемой заготовке.

Непрерывные станы. Непрерывный стан состоит из нескольких дуо-клетей, расположенных последовательно одна за другой, в которых металл во время прокатки идет в одном направлении и деформируется одновременно в двух или нескольких клетях

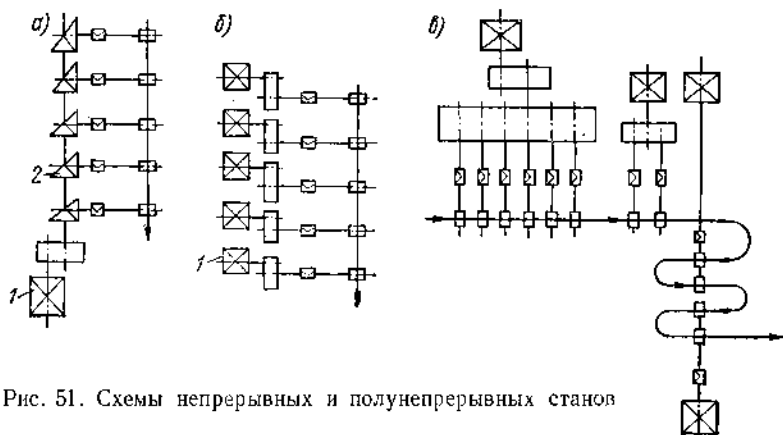


Рис. 51. Схемы непрерывных и полунепрерывных станов

(рис. 51, а). Число рабочих клеток соответствует требуемому числу проходов металла между валками. Непрерывные станы выполняются с групповым (рис. 51, а) или индивидуальным приводом (рис. 51, б). В первом случае все рабочие клетки получают свое вращение от общего электродвигателя 1 при помощи конических зубчатых передач 2 (рис. 51, а). Во втором случае каждая клетка имеет свой отдельный двигатель (рис. 51, б). Число оборотов валков возрастает от одной клетки к другой в соответствии с увеличением длины полосы по мере ее прохода в валках последовательно расположенных клеток.

Для обеспечения нормальной прокатки в указанных станах диаметр валков и число их оборотов подбираются таким образом, чтобы во всех клетях соблюдалось соотношение

$$F_n v_n = \text{const}, \quad (65)$$

где F_n — площадь поперечного сечения прокатываемой заготовки при выходе из данной клетки;

v_n — скорость выхода заготовки из той же клетки.

При несоблюдении указанного соотношения прокатываемый металл между клетями будет разрываться или образовывать большие петли.

Непрерывные станы позволяют получить наиболее высокую производительность, так как в них одновременно работают все клетки, в то время как в периодических станах работает только одна клетка, а остальные — вхолостую.

Полунепрерывные станы. В полунепрерывном стане черновые клетки расположены непрерывно, а чистовые клетки — в линию или в другом порядке (рис. 51, а). Имеется несколько разновидностей полунепрерывных станов: петлевые, зигзагообразные и шахматные станы. Полунепрерывное расположение клеток облегчает настройку стана, упрощает наблюдение за работой чистовых клеток и сокращает длину цеха, необходимую для размещения стана. Эти станы применяются для прокатки мелкого сортового металла и проволоки.

Устройство станов

Обжимные станы. Обжимные станы предназначены для обжатия стальных слитков в крупную заготовку. Основными типами обжимных станов являются блюминги и слябинги.

Блюминг представляет собой крупный обжимный стан, предназначенный для прокатки из слитков весом от 2,5 до 20 т заготовок-блюмов, используемых в качестве исходного материала для сортовых станов или в качестве заготовок под ковку и штамповку.

Блюминги могут быть одно- и двухклетьевые дуореверсивного вида. Диаметр валков у блюмингов 800—1400 мм, длина бочки 2000—2800 мм, число оборотов валков 40—140 в минуту, мощность электродвигателя 5000—5500 кат.

В последние годы все большее распространение получают блюминги с индивидуальным приводом каждого валка от отдельного электродвигателя мощностью около 3500 кат, благодаря чему исключается шестеренная клетка и упрощается весь передаточный механизм, состоящий из одних лишь шпинделей и муфт (рис. 52). Скорость прокатки (окружная скорость валков) у блюминга достигает до 7 м/сек; производительность его составляет 2,0—2,5 млн. т проката в год, или 300—350 т/ч.

Слябинг — крупный обжимной стан, предназначенный для прокатки из слитков весом от 8 до 32 т и более заготовок — слябов толщиной от 60 до 300 мм и шириной от 600 до 1800 мм. Слябинг состоит из двух дуо-реверсивных клеток: одной с горизонтальными гладкими валками диаметром 1100 мм и длиной бочки 2000 мм и другой с вертикальными гладкими валками диаметром 700 мм и длиной бочки 1200 мм. Клетки расположены в непосредственной близости одна от другой. Наличие вертикальных валков позволяет производить обжатие боковых кромок слитков без их кантовки. Скорость прокатки на слябинге достигает до 6 м/сек. Производительность слябинга составляет более 2,0—2,5 млн. т в год.

Устройство станов для прокатки тонких листов и лент в холодном состоянии. Холодная прокатка листов, как указывалось

выше, производится либо полистовым, либо рулонным методом. Для первого способа прокатки применяются реверсивные двух-валковые и четырехвалковые (кварто) станы, для второго способа — непрерывные четырехвалковые станы, состоящие обычно из трех последовательно расположенных клетей 2 (рис. 53). В этом стане приводными являются рабочие валки 3, а опорными — валки 4. Перед станом для подачи в него ленты установлен разматыватель рулонов 1. Передний конец полосы разматыватель подает на стан при помощи магнита [60].

Для сматывания прокатанной ленты за станом установлена моталка 5 барабанного типа. В стане имеются петледержатели 6 и летучий микрометр 7. Каждая клеть и моталки в непрерывных станах имеют свой отдельный электропривод. Скорость прокатки в каждой клети регулируется, в последней клети скорость доходит до 9 м/сек. Производительность стана 250—300 тыс. *т* в год, или до 60 *т/ч*.

В настоящее время работают станы холодной прокатки, где скорость прокатки доходит до 36 м/сек. Процесс прокатки в них полностью автоматизирован. Производительность станов доходит до 800—900 тыс. *т* в год. Имеются также станы, в которых прокатка осуществляется путем протягивания ленты между валками при помощи мощных моталок. Рабочие и опорные валки в них не имеют привода. Станы этого типа обычно реверсивные. В зависимости от условий прокатки применяются валки из полузакаленного и закаленного чугуна (для цветных металлов) и из легированной закаленной стали (для блюмингов, слябингов и холодной прокатки).

§ 12. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ПРОКАТ И ПРОИЗВОДСТВО ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Трубы изготавливаются двух видов — бесшовные и со швом, так называемые сварные. Бесшовные трубы — наиболее прочные, поэтому они применяются для передачи жидкостей и газов, работающих при высоких давлениях и температурах; шовные трубы используются при низких давлениях (до 10 ат).

Производство бесшовных труб

Процесс прокатки бесшовных труб состоит из трех основных операций. Первая операция — образование отверстия в слитке (заготовке) — производится в горячем состоянии на прошивных станах или специальных прошивных прессах. Вторая операция — раскатка толстостенной гильзы в тонкостенную трубу — производится также в горячем состоянии на трубопрокатных — раскатных станах различной конструкции. Третья операция — отделка тонкостенной трубы на готовую трубу — производится на отделочных станах различного назначения.

Прошивные станы. Для прошивки отверстия в слитке или заготовке применяются станы следующих трех типов: с бочкообразными, коническими (грибовидными) и дисковыми валками. Наибольшее применение имеют первые станы.

Прошивной стан с бочкообразными валками имеет два рабочих валка с двойной конусностью (рис. 54, б) диаметром от 450 до 1000 мм, расположенных в горизонтальной плоскости. Оси валков

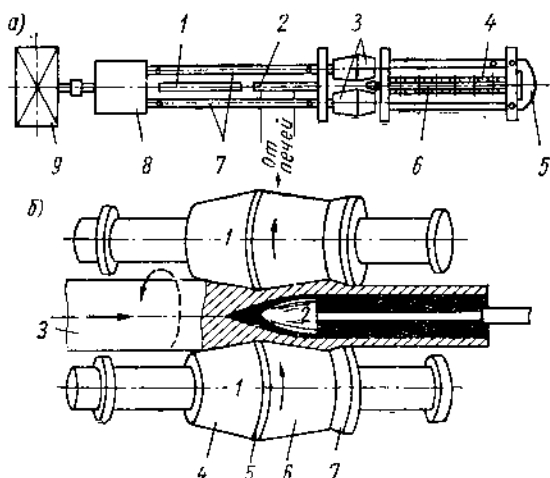


Рис. 54. Схема прошивки заготовок и расположения прошивного стана с бочкообразными валками: а — схема расположения стана:

1 — толкатель; 2 — желоб; 3 — валки; 4 — рольганг; 5 — замок; 6 — стержень с пробкой; 7 — соединительные шпindelи; 8 — шестеренная клеть; 9 — мотор;

б — схема прошивки слитка или заготовки:

1 — валки; 2 — пробка на стержне; 3 — слиток или заготовка; 4 — конус прошивки; 5 — калибровочный пояс; 6 — конус раскатки; 7 — конус выдачи

в вертикальной плоскости наклонены друг к другу под углом $4-14^\circ \left(\frac{2}{90} \div \frac{7}{90} \pi \text{ рад} \right)$. Оба валка вращаются в одном и том же направлении. Для прошивки заготовки используется принцип кривой прокатки.

Нагретый слиток (или заготовка) поступает в приемный желоб стана, расположенный между шестеренной и рабочей клетями (рис. 54, а), из которого с помощью специального толкателя подается в валки. Благодаря косому расположению валков (рис. 54, б), заготовка при прокатке получает одновременно вращательное и поступательное движения. Вследствие этого каждая точка деформируемой части заготовки 3 совершает винтовое движение, причем с различной скоростью, увеличиваясь по мере приближения к калибровочному поясу.

В заготовке 3 возникают внутренние напряжения, вызывающие течение металла от центра в радиальном направлении, что приводит вначале к разрыхлению осевой зоны — сердцевины, а затем по мере распространения их по очагу деформации — к образованию внутренней полости заготовки с неровными стенками. Для получения отверстия нужного диаметра и с гладкой поверхностью прокатку ведут с применением оправки — пробки 2, удерживающейся на стержне.

Бочка вала 1, как видно из рис. 54, б, имеет четыре части (зоны): конус прошивки, калибровочный цилиндрический пояс, конус раскатки и конус выдачи — выпуска. В конусе прошивки происходит начало образования полости в заготовке. В поясе пережима металл не деформируется, заготовка лишь продвигается вперед. В конусе раскатки металл встречает коническую оправку — пробку. Полученная заготовка подвергается прокатке между валами и оправкой, вследствие чего полость гильзы, полученная в конусе прошивки, увеличивается до диаметра пробки, а толщина стенки трубы уменьшается. В конусе выдачи выравниваются все напряжения, возникающие в металле в процессе прошивки, уплотняется металл, выравнивается поверхность гильзы и получается требуемый диаметр толстостенной гильзы.

На этих станах прокатывают трубные заготовки (гильзы) диаметром от 60 до 650 мм с толщиной стенки гильзы от 10 до 100 мм. На прошивных станах с грибовидными вальками прошивают трубные заготовки диаметром 60—200 мм, а на станах с дисковыми вальками — 60—150 мм.

Раскатные станы. Полученные на прошивных станах толстостенные трубные заготовки (гильзы) далее раскатывают в горячем состоянии на раскатных станах различной конструкции в тонкостенные трубы. Прокатка осуществляется на периодических (пильгерных), автоматических, непрерывных или на трехвалковых станах.

Периодический стан (пильгерстан) представляет собой неревверсивный двухвалковый стан. Валки его имеют круглый калибр переменного сечения (рис. 55, б). Металл подается в валки навстречу их вращению. На этом стане производится прерывно-периодическая (пильгеримовая) раскатка горячей гильзы в трубу на цилиндрической оправке. На рис. 55, а дана схема процесса прокатки на этом стане при различных положениях 1, 2, 3, 4.

В процессе прокатки непрерывно чередуются прямой и обратный ход с периодическим поворачиванием гильзы вокруг своей оси. Деформация трубной заготовки (гильзы) осуществляется правой стороной калибра (рис. 55, б), на поверхности которого имеются три участка *b*, *c* и *d*. На участке *b* происходит захват гильзы, на участке *c* обжатие ее; на обоих участках профиль и радиус ручья переменные. На участке *d* происходит раскатка трубы и сглаживание ее поверхности; на этом участке радиус ручья постоянный [60].

Левая часть валка e имеет меньший радиус. Труба на этом участке с валками не соприкасается (холостой участок), что дает возможность свободно перемещать ее в направлении подачи.

За каждый оборот валков прокатывается часть гильзы длиной 8—30 мм в часть трубы длиной 80—160 мм. Во время раскатки гильзы оправка нагревается до температуры свыше 300° , поэтому ее приходится сменять и охлаждать. По этой причине раскатку

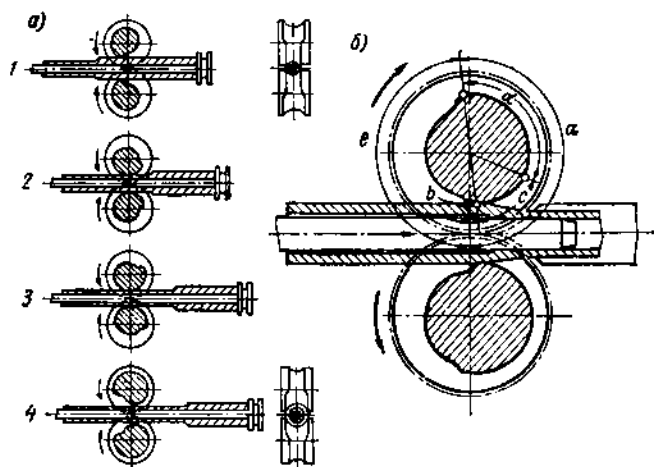


Рис. 55. Схема процесса и форма калибра валков для раскатки трубы на периодическом стане (пильгерстане)

каждой гильзы производят на отдельной оправке. Задний конец гильзы на этих станах недокатывается и отрезается на пилах горячей резки.

На периодических станах получают трубы диаметром от 50 до 615 мм при длине от 10 до 30 м. Толщина стенки трубы от 2,5 до 8 мм. Производительность этих станов при диаметре трубы в 200 мм составляет 1400—1500 м за смену. Общая производительность их 80—250 тыс. т в год. После раскатки на периодических станах трубы поступают на обкатный стан и далее на калибровочный стан с валками круглого калибра, где происходит их калибровка по размерам (по диаметру), затем они передаются на правильный пресс, холодильник (для охлаждения), трубообрезный станок для резки труб по длине, весы, контрольный пресс и далее на склад готовой продукции. Все это оборудование располагается последовательно по технологическому циклу в комплексную трубопрокатную установку по выпуску бесшовных труб различных размеров.

Производство сварных труб

Сварные трубы получают из плоской заготовки — ленты, называемой *штрипсом*, или из листов, ширина которых обычно соответствует длине окружности трубы. Сварные трубы изготовляют несколькими способами: печной сваркой (встык и внакладку), электрической и газовой сваркой.

Производство труб печной сваркой. Этим способом изготовляют трубы главным образом встык диаметром от 10 до 114 мм при толщине стенки 2—5 мм. Для печной сварки применяется малоуглеродистая сталь ($C \approx 0,3\%$). Сварка труб встык выполняется на цепных и непрерывных станах.

Процесс изготовления труб сваркой встык на цепных станах обычно начинают с того, что у одного конца полосы обрезают

углы, а сам конец загибают (рис. 56). Затем заготовку 1 нагревают в печи до сварочной температуры 1300—1350°. После чего специальными клещами 3 (при малых диаметрах труб к заготовке приваривается стержень для захвата его клещами) захватывают за загнутый конец

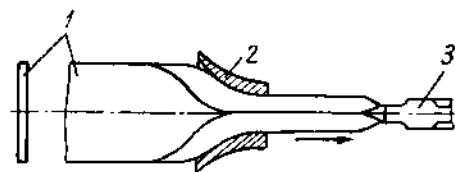


Рис. 56. Схема процесса получения труб сваркой встык

полосы (или приваренного стержня) и протягивают ее через воронку 2, в которой она одновременно сворачивается в трубу и благодаря давлению сваривается встык. Окалина перед сваркой сбивается струей сжатого воздуха. После сварки трубы проходят через калибровочный стан, правильную машину, холодильник и затем поступают на окончательную отделку.

В настоящее время сварку труб встык производят в непрерывных станах, состоящих из 6—12 клетей, в которых валки имеют круглые калибры. В этих станах размотанная с рулона лента вначале проходит роликовую правильную машину, а затем поступает в узкую длинную (до 40 м) газовую печь, где она нагревается до 1300—1350°.

По выходе из печи лента попадает в непрерывный прокатный стан, где она формируется в трубу и сваривается встык. После выхода из стана труба на ходу разрезается специальной пилой на куски требуемой длины и далее поступает на калибровочный стан, холодильник и окончательную отделку. Производительность всего агрегата достигает 200—250 тыс. т труб в год.

Сваркой внакладку получают трубы диаметром до 400 мм (сейчас этот способ применяется реже).

Производство труб электросваркой. В промышленности применяется несколько способов производства труб электросваркой. Наибольшее распространение имеет способ получения труб кон-

тактной сваркой сопротивлением. В этом случае изготавливают трубы диаметром от 6 до 630 мм и толщиной стенки от 0,15 до 20 мм.

Исходным материалом здесь служит светлая холоднокатаная лента в рулонах или полосы, а для труб больших диаметров — листовая заготовка, которая предварительно очищается от окалины и ржавчины травлением или обдувкой металлическим песком.

Ленты и полосы свертываются в холодном состоянии в трубу в формовочных (профиле-загибочных) непрерывных двухвалковых станах дуо с числом клеток от 5 до 12 в зависимости от размера труб.

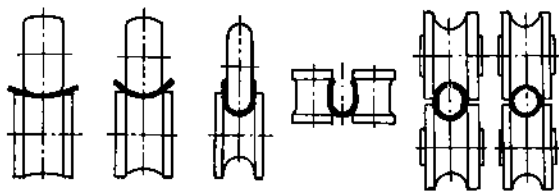


Рис. 57. Последовательность процесса свертывания трубы из полосы в шести вальках профиле-загибочного станка

На рис. 57 показаны последовательность процесса свертывания трубы и расположение валков в шестивальковом стане. Четвертая пара, как видно из рисунка, расположена вертикально. По выходе из последней клетки стана трубная заготовка поступает в электро-сварочный агрегат, где специальными роликовыми электродами кромки трубы плотно прижимаются друг к другу и одновременно свариваются (рис. 57). Образовавшийся во время сварки наплыв сострагивается при движении трубы вперед. После сварки трубы проходят правку с калибровкой и дальнейшие отделочные операции.

Кроме производства электросварных труб контактной сваркой сопротивлением, применяются контактная сварка оплавлением (реже), электродуговая сварка под слоем флюса с прямым и со спиральным швом. Способом электродуговой сварки под слоем флюса изготавливаются трубы большого диаметра, которые используются главным образом для транспортировки газа, нефти и нефтепродуктов.

Трубы с прямым швом изготавливают диаметром 426—1420 мм при толщине стенки 6—13 мм, а трубы со спиральным швом — диаметром 150—720 мм при толщине стенки 5—10 мм [51].

При производстве труб дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом подготовленный лист вначале формируется на листогибочных вальцах или прессах, затем сваривается снаружи и изнутри.

Внутренняя сварка осуществляется сварочной головкой, перемещающейся внутри трубы на тележке со штангой. Сваренные трубы поступают дальше на отделочные операции: калибровку, правку и гидравлическое испытание.

Основными операциями при сварке труб со спиральным швом являются: свертывание трубы по спирали, сварка шва и отрезка. Все эти операции осуществляются на автоматическом трубосварочном стане, имеющем соответственно три основных механизма для подачи ленты, формовки, сварки и отрезки. Производительность таких станов составляет 450—500 м труб в смену.

В последнее время трубы диаметром от 12,5 до 219 мм начали изготавливать и индукционной сваркой [35; 51]. При изготовлении труб из высоколегированных сталей находит применение атомно-водородная и аргоно-водородная сварка.

Периодический прокат

В настоящее время периодический прокат в кузнечно-штамповочном производстве получает широкое применение не только как фасонная заготовка для последующей штамповки деталей различных машин, но и как заготовка под окончательную механическую обработку.

Периодический прокат, как уже было³ указано выше, представляет собой заготовку, поперечное сечение которой не является одинаковым по форме и площади, как при обычном продольном прокате, а периодически изменяется (рис. 58) [8].

Один из способов изготовления периодического проката круглого сечения — поперечная прокатка — изображен на рис. 59 [12; 46; 36]. Нагретая круглая заготовка 10 сплошного сечения или

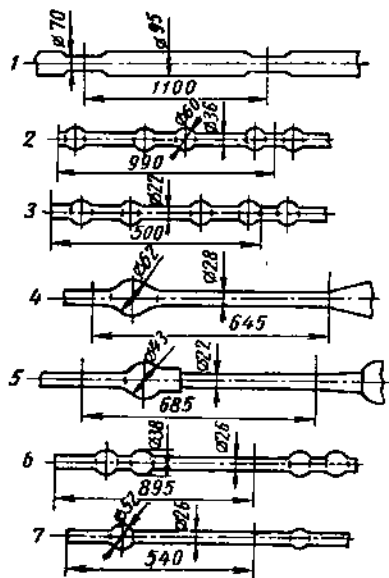


Рис. 58. Примеры периодического проката для последующей штамповки деталей автомобилей:

1 — для коленчатого вала; 2 — для поперечины двигателя; 3 — для серги передней рессоры; 4 — для педали тормоза; 5 — для рычага скоростей; 6 — для рычага тормоза; 7 — для рычага переключения

труба помещается между тремя коническими валками 2, расположенными под углом в 120° относительно друг друга. Оси рабочих валков повернуты на небольшой угол к оси прокатки. Валки, получая вращение посредством универсальных шпинделей, прокатывают находящуюся между ними заготовку 10 при одновременном ее перемещении вдоль оси.

Во время прокатки рабочие валки, закрепленные в головках 1 гидроцилиндров 9, могут сближаться или расходиться от оси изделия вследствие чего выходящая из валков заготовка имеет переменное сечение по длине, т. е. получается прокат с периодически повторяющимся профилем.

Цикличность работы нажимных устройств задается сменной копировальной линейкой 6, упирающейся в копирующий палец 7, который через систему реле, датчиков тока и других устройств электроавтоматики управляет гидроприводом 8 и главным мотором стана. Для перехода на прокатку заготовок другого профиля достаточно сменить линейку 6.

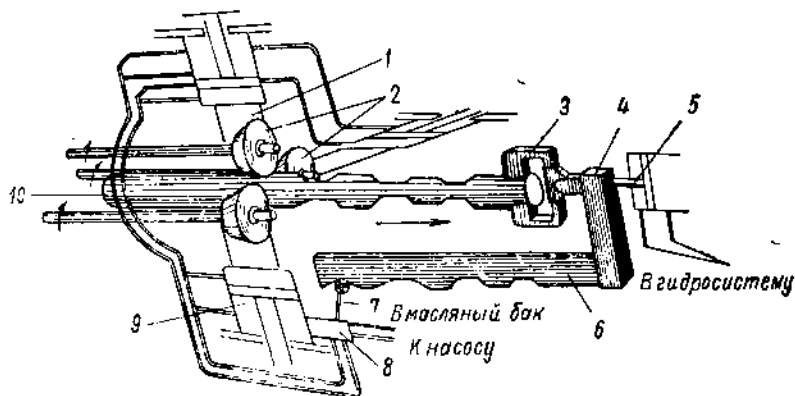


Рис. 59. Схема прокатки изделий периодического профиля в стане с тремя коническими валками

Для предохранения заготовки от образования в ней полости (рыхлости) в процессе поперечной прокатки необходимо создать значительное осевое натяжение. Последнее создается при помощи гидравлического цилиндра 5 через свободно вращающийся зажим 3, в котором зажат конец заготовки 10. Натяжное устройство 4 перемещает также копировальную линейку 6. Усилие натяжения и осевая скорость выхода заготовки из валков взаимно регулируются.

На этих периодических трехвалковых станах прокатывают заготовки диаметром от 25 до 120 мм при длине от 1100 до 2500 мм. Максимальная скорость прокатки 0,1—0,5 м/сек, производительность достигает 10—35 тыс. т в год [12; 46].

В настоящее время получил широкое распространение и процесс прокатки в винтовых калибрах [46]. Этим способом изготавливаются периодический прокат, а также шары для подшипников (рис. 60). Пруток диаметром на 1—2 мм меньше диаметра шара задается в валки, имеющие круглые калибры, выполненные по винтовой линии. Так как оси валков находятся друг к другу под некоторым

углом, то пруток, втягиваясь в них, постепенно формируется в шары, которые в конечном итоге пережимаются и падают в поддон.

Кинематическая схема стана одной из конструкций изображена на рис. 60. Таким способом получают шары от 4 до 125 мм в диаметре со средней производительностью 60—80 шт/мин.

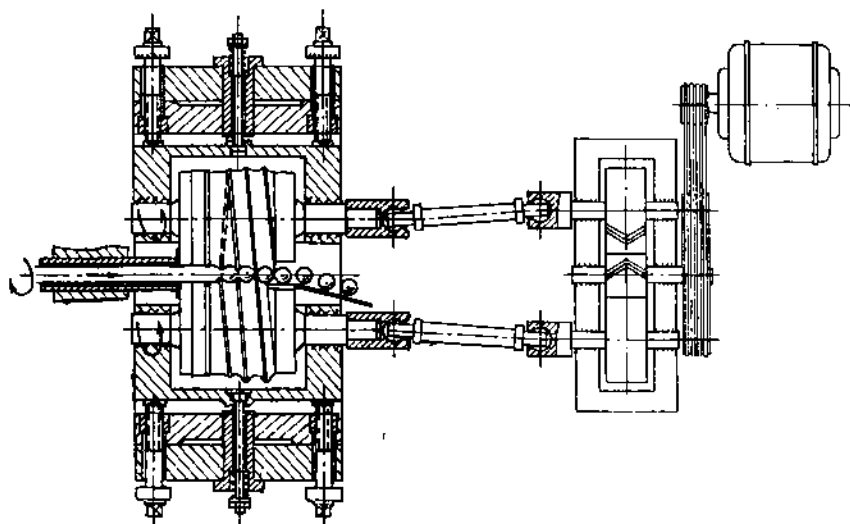


Рис. 60. Кинематическая схема стана для прокатки шаров конструкции ЦНИИТмаша

Производство гнутых профилей

В последнее время большое развитие получило производство гнутых профилей из холодно- и горячекатаных полос и лент.

Гнутые профили изготавливаются весьма сложной конфигурации, которая не может быть получена при обычной прокатке, и имеют то достоинство, что при одних и тех же механических свойствах (а иногда при более высоких) по сравнению с горячекатаными они на 25—30% легче последних. Гнутые профили изготавливаются на роliko-гибочных машинах, состоящих из нескольких клеток (пар роlikов и валков), расположенных одна за другой, в которых происходит постепенное профилирование полосы в нужный профиль. Гнутые профили изготавливаются в виде швеллеров, уголков и другой более сложной формы [51; 60].

Техника безопасности при прокатке

Техника безопасности в прокатном производстве приобретает особое значение вследствие того, что рабочим приходится иметь дело с движущимся горячим металлом и непрерывно враща-

ющимися механизмами и его частями. Поэтому техника безопасности должна предусматривать соответствующие мероприятия, которые позволили бы избежать производственных травм как при работе, так и при обслуживании станков. Они заключаются в ограждении вращающихся механизмов, хорошем освещении рабочего места и участка, механизации процессов, в своевременных испытаниях и ремонте оборудования, приспособлений и инструмента, разработке подробных инструкций по технике безопасности применительно к каждому данному участку работы, в детальном и конкретном инструктаже рабочего непосредственно на рабочем месте.

Глава IV

ВОЛОЧЕНИЕ

В о л о ч е н и е м называется протягивание заготовки 1 через отверстие инструмента 2 в виде волоочильной доски или волокни, сечение которого меньше сечения протягиваемой заготовки (рис. 61, а).

Заготовками для волочения может служить прокат (в виде катанки, прутков и труб), а также прессованные профили (прутки и трубы). Процесс волочения производится преимущественно в холодном состоянии.

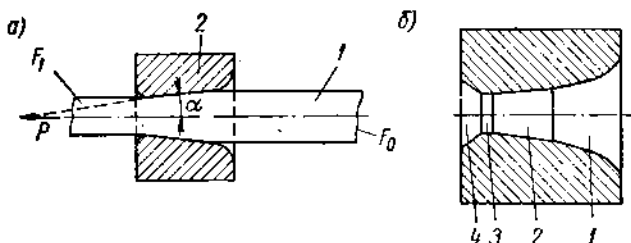


Рис. 61. Схема процесса волочения (а) и продольный разрез волокни (б)

Сортамент современных изделий, изготавливаемых волочением, весьма разнообразен. Волочением изготавливают стальную проволоку диаметром от 0,002 до 10 мм, калибруют стальные трубы с наружными диаметрами от капиллярных до 500 мм, калибруют стальные прутки с диапазоном диаметров от 3 до 150 мм [67]. Из цветных металлов волочением изготавливают проволоку круглого, прямоугольного и сегментного сечений, прутки различных сечений, трубы круглого и прямоугольного сечений и т. п.

Волочение позволяет получать изделия с высоким классом точности и высокой чистотой поверхности. Например, стальная проволока диаметром 0,006 мм по 2-му классу точности имеет допуск $-0,001$ [67]. Чистота поверхности после волочения обычно соответствует 7—9-му классу по ГОСТу 2789—51 [64].

Вследствие наклепа волочение может обеспечить металлу значительное повышение предела прочности. Например, сталь, содержащая 0,5% углерода после горячей прокатки, имеет предел прочности около 70 кг/мм^2 (700 Мн/м^2), а после волочения — около 160 кг/мм^2 (1600 Мн/м^2).

§ 13. ВОЛОЧИЛЬНЫЕ СТАНЫ И ИНСТРУМЕНТ

Волоочильные станы в основном подразделяются на цепные и барабанные; первые — периодического действия, вторые — непрерывного. Катанка, прутки и трубы протягиваются на цепных станах крупных размеров.

Цепной стан (рис. 62) имеет станину 1 длиной 14—16 м. В станине 1 укреплены два цепных барабана 4 и 2; барабан 4 получает вращение от электромотора через редуктор. На барабаны 4 и 2 накинута бесконечная шарнирно-пластинчатая цепь 3. По наклонным направляющим станины 1 перемещается тележка 6, на которой укреплены крюк 5 с противовесом 7 и зажимное приспособление

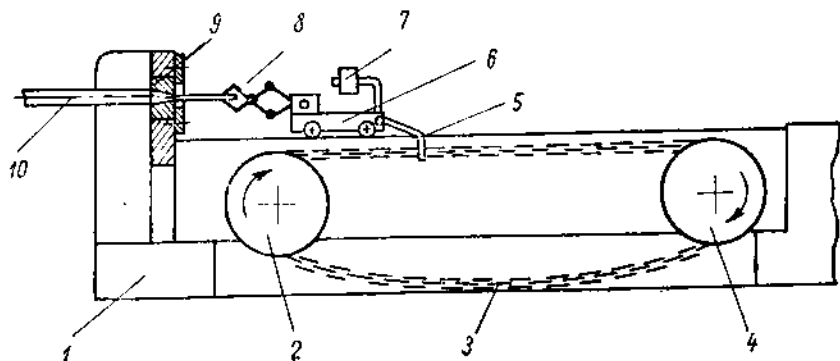


Рис. 62. Схема цепного волоочильного стана

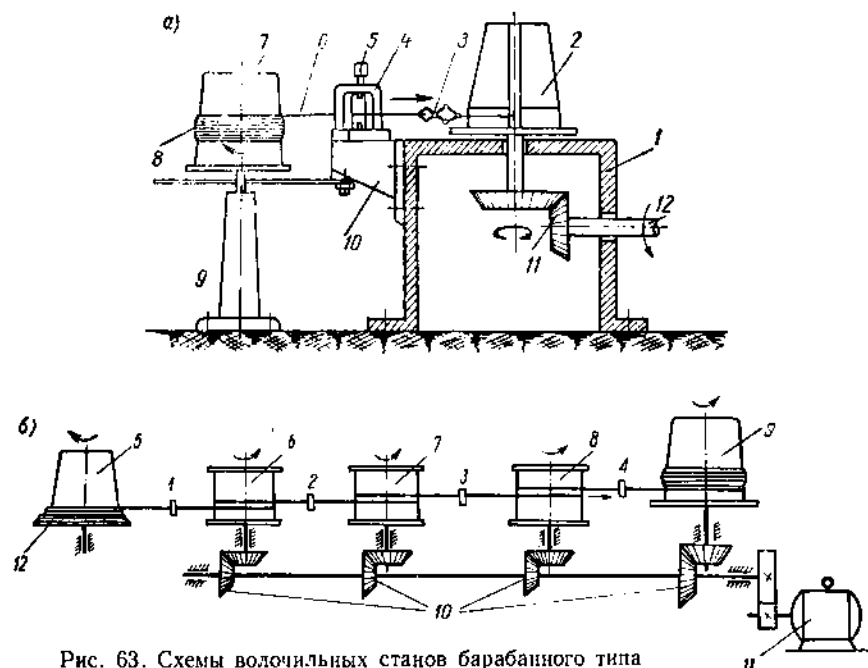
в виде клещей 8. К передней стойке стана прикрепляется инструмент 9. Для начала работы на стане необходимо конец прутка 10 заправить (обжать) таким образом, чтобы он прошел через отверстие инструмента (волоки) 9 и был захвачен губками клещей 8.

Крюк 5 тележки 6 накидывается на один из пальцев звена бесконечной цепи 3, которая при перемещении будет передвигать тележку 6. При этом клещи 8, зажимая пруток 10, будут его протягивать через отверстие волоки 9. В крайнем правом положении тележки 6 крюк 5 будет вытолкнут из звена цепи 3 зубом барабана 4; противовес 7 приподнимает крюк, клещи 8 разожмутся и тележка 6, будучи установленной на наклонных направляющих, переместится влево для повторения цикла протяжки. Крюк 5 вручную (или автоматически) будет снова накинута на палец звена цепи; клещи 8 захватят пруток 10 в новом месте, и цикл протягивания повторится. Современные цепные станы могут одновременно протягивать до десяти прутков и строятся с тянущим усилием до 150 т (1500 кн).

Скорость волочения на цепных станах в зависимости от размеров профиля и механических свойств протягиваемого металла колеблется в пределах 0,10—0,8 м/сек. Так, например, при протя-

гивании медных и латунных изделий сечением 40 мм^2 скорость волочения составляет около $0,7 \text{ м/сек}$, а для изделий сечением $12\ 500 \text{ мм}^2$ скорость равна $0,17 \text{ м/сек}$ [13]. Для стали, имеющей $\sigma_s = 40 \text{ кг/мм}^2$ (400 Мн/м^2) с сечением 110 мм^2 скорость волочения составляет $0,3 \text{ м/сек}$, а для сечения 8000 мм^2 — $0,13 \text{ м/сек}$.

Станы барабанного типа для непрерывного волочения подразделяются на станы однократного волочения и многократного.



конца всего бунта. Благодаря конической форме барабана 2 витки проволоки, поднимаясь вверх, будут образовывать новый бунт.

Станы такого типа применяются для волочения круглой проволоки диаметром от 8 до 0,4 мм и аналогичных размеров фасонной проволоки [13]. Скорость волочения в них колеблется в пределах 0,6—0,8 м/сек.

Станы многократного волочения применяются для протягивания проволоки диаметром от 1,0 до 0,002 мм; число волок в этих стапах достигает 20—30 шт. Скорость волочения на таких станах может изменяться в очень широких пределах, например при волочении медной или алюминиевой проволоки диаметром около 0,3 мм она достигает 50 м/сек. Волочение проволоки из труднодеформируемых металлов (таких как вольфрам, молибден, титан) при диаметрах 0,3 мм производится со скоростью около 0,4 м/сек [67].

Схема одной из конструкций стана для многократного волочения барабанного типа изображена на рис. 63, б. Бунт проволоки 12 надевается на холостой барабан 5. Проволока протягивается через ряд последовательных волок — 1—4. Барабаны 6, 7, 8 называются тяговыми; на каждый из них наматывается два-три витка проволоки, необходимых для создания тягового усилия. Протянутая проволока поступает на приемный барабан 9. Вращение тяговым и приемным барабаном передается от мотора 11 с редуктором посредством конических шестерен 10. Скорости вращения тяговых барабанов различны и должны соответствовать скоростям волочения. Регулировка скоростей производится либо установкой барабанов разного диаметра, либо подбором конических шестерен 10.

В качестве инструмента для волочения применяются волочильные доски и волок (фильеры). *Волочильные доски* применяются только для волочения пруткового материала большого диаметра и устанавливаются на цепные станы. С целью экономии металла для инструмента волочильные доски обычно имеют несколько отверстий различного профиля.

Волока, или фильер, представляет собой кольцо (рис. 61, б), рабочее отверстие которого состоит из входного конуса 1, деформирующей зоны 2, калибрующего пояска 3 и выходного конуса 4. Чистота обработки поверхности калибрующей и деформирующих зон волокни должна соответствовать 9—11-му классам по ГОСТу 2789—51. Материалом для них служит инструментальная сталь (У7, У12, Х12М), металлокерамические сплавы (ВК3, ВК6) и технические алмазы. Применение волок из металлокерамических сплавов позволяет увеличить скорость волочения и обжатию, а также улучшить качество изделия. Отверстия в волокнах из твердых сплавов изготавливаются электроискровым методом. Полировка отверстий производится на станках с помощью специальных игл и абразивных порошков.

Волоки для волочения проволоки диаметром меньше 0,20 мм изготавливаются из технических алмазов. Так как алмаз обладает наибольшей твердостью и износостойкостью из всех известных элементов, то сверление отверстия в алмазных волокнах производится тонкой стальной иглой, вращающейся со скоростью 3000 об/мин. Для эффективности сверления используется абразивная смесь из алмазной пудры и оливкового масла. Продолжительность сверления алмазного камня длится до 100 ч.

Стойкость волок зависит от величин обжатия, марки деформируемого материала, материала волокна, смазки и т. п. Например, через волоку из твердого сплава можно протянуть около 140 км медной проволоки в диапазоне диаметров от 1 до 10 мм, а через волоку из алмаза можно протянуть до 7200 км медной проволоки с диапазоном диаметров от 0,2 до 0,3 мм [67].

§ 14. ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ И ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОЧЕНИЯ

Деформация при волочении характеризуется рядом величин: относительным обжатием, коэффициентом вытяжки, коэффициентом уменьшения сечения, удлинением и др. Наиболее важными показателями из указанных являются: относительное обжатие, коэффициент вытяжки и коэффициент уменьшения сечения.

Относительное обжатие u может быть подсчитано как отношение разности поперечных сечений до и после волочения к сечению до волочения

$$u = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%. \quad (66)$$

Коэффициент вытяжки μ показывает, во сколько раз увеличилась длина заготовки или уменьшилось ее сечение за один проход (протяжку) через отверстие инструмента и выражается

$$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}. \quad (67)$$

Коэффициент уменьшения сечения k представляет собой величину, обратную коэффициенту вытяжки,

$$k = \frac{1}{\mu} = \frac{F_1}{F_0}. \quad (68)$$

В этих формулах

F_0 и l_0 — сечение и длина заготовки до волочения;

F_1 и l_1 — сечение и длина заготовки после волочения.

Деформация металла при волочении может производиться как за одну протяжку через отверстие волокна, так и за несколько. Обжатие, вычисленное по начальным и конечным размерам деформируемого за несколько протяжек материала, называется сум-

марным обжатием. Обжатие, вычисленное по размерам за одну протяжку, называется *единичным*. При одном и том же суммарном обжатии значения единичных обжатий могут быть различными.

Величина суммарного обжатия зависит от химического состава металла, его исходного состояния, условий деформации, а также от заданных конечных свойств металла. Допустимое суммарное обжатие в каждом отдельном случае устанавливается опытным путем.

Для нормального протекания процесса волочения чрезвычайно важно правильно выбрать величины единичных обжатий по переходам или так называемый маршрут обжатия. Максимальное обжатие за одну протяжку ограничено. При этом напряжение волочения σ_z , представляющее собой отношение тянущего усилия к площади поперечного сечения прутка (проволоки) после прохода через волоку, не должно превышать предела прочности материала σ_a , т. е.

$$\sigma_z < \sigma_a, \quad (69)$$

где σ_z вычисляется по формуле

$$\sigma_z = \frac{P}{F_1} \text{ кг/мм}^2 \text{ (н/мм}^2\text{)}, \quad (70)$$

где P — усилие волочения в кг (н);

F_1 — площадь сечения прутка после волочения в мм^2 .

Для волочения без обрывов принимается, что $\frac{\sigma_a}{\sigma_z} = 1,5 \div 2,5$, откуда в среднем

$$\sigma_z \approx 0,56\sigma_a. \quad (71)$$

Величина максимального обжатия за одну протяжку зависит от пластичности материала, его структуры, степени предшествующего наклепа, формы отверстия волоки, смазки, скорости волочения и ряда других факторов. Во избежание образования внутренних трещин и надрывов в металле при волочении даже высокопластичных материалов максимальные обжатия за одну протяжку не должны превышать 50—60%. Суммарные обжатия в зависимости от протягиваемого материала и желаемых конечных механических свойств могут достигать 90—99% [67].

Приближенный расчет количества протяжек при волочении

Обычно при расчете количества протяжек принимают, что единичные обжатия вследствие увеличения наклепа постепенно уменьшаются. Однако для ориентировочного расчета количества протяжек единичное обжатие u можно принять за постоянную величину, т. е. $u = \text{const}$.

При постоянном единичном обжатии будет постоянным и коэффициент вытяжки μ за одну протяжку, т. е.

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} = \text{const}; \quad (72)$$

следовательно,

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} = \frac{F_1}{F_2} = \dots = \frac{F_{n-1}}{F_n},$$

откуда

$$F_1 = \frac{F_0}{\mu}; \quad F_2 = \frac{F_0}{\mu^2}; \quad \dots \quad F_n = \frac{F_0}{\mu^n}, \quad (73)$$

где n — количество протяжек.

Логарифмируя обе части равенства, получим

$$\lg F_n = \lg F_0 - n \lg \mu,$$

откуда определяется n

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \mu}. \quad (74)$$

Практически, средняя величина единичного обжатия для разных материалов не превышает 20—30%, и, следовательно, коэффициент вытяжки μ колеблется в пределах 1,25—1,45. Например, при изготовлении проволоки диаметром 3 мм из заготовки диаметром 6 мм количество проходов при среднем коэффициенте вытяжки $\mu = 1,3$ равно

$$n = \frac{\lg 28,3 - \lg 7,06}{\lg 1,3} = 5,2.$$

Таким образом, технологический маршрут волочения проволоки с диаметра 6 мм на диаметр 3 мм при среднем коэффициенте вытяжки, равном 1,3, будет состоять из пяти-шести протяжек.

Рассмотрим технологический процесс изготовления пружинной проволоки указанного размера заготовкой служит катанка $\varnothing 5,2$ мм с содержанием 0,4—0,5% углерода и до 1% марганца.

Технологический процесс состоит из следующих операций:

- 1) травление (для очистки от окалины), сушка;
- 2) волочение с $\varnothing 5,2$ на $\varnothing 4,5$ мм;
- 3) патентирование¹;
- 4) травление, сушка;
- 5) волочение с $\varnothing 4,5$ на $\varnothing 2,6$ мм;
- 6) патентирование;
- 7) травление, сушка;
- 8) волочение с $\varnothing 2,6$ на $\varnothing 1,8$ мм.

¹ Термообработка для получения высоких пластических свойств.

Так как проволока применяется в сильно наклепанном состоянии, то термообработка после волочения не производится.

Особенности волочения труб и полных фасонных профилей

Волочение труб и прутков производится на цепных станах. Так как при волочении не всегда имеется возможность «перехватывать» трубу, то длина станины трубоволочильных станов достигает 30 м. Для получения полого профиля с заданными внутренними размерами применяются различные способы, например:

1) протяжка без оправки;

2) протяжка на незакрепленной короткой оправке;

3) протяжка на длинной закрепленной оправке.

Схема способа протяжки трубы на длинной закрепленной оправке изображена на рис. 64, а. В трубную заготовку 1, протягиваемую через волоку 2, вставлена длинная оправка 4, свободный конец которой закреплен в кронштейне на стане. При протяжке заготовка 1 деформируется как по наружной поверхности, так и по внутренней, образуя трубу 3 требуемых размеров. Скорости волочения труб на длинной оправке составляют около 0,1—0,2 м/сек.

Приведем пример изготовления трубы общего назначения размером $40 \times 1,0$ мм из стали 20. В данном случае волочение производится на длинной оправке. Исходная заготовка — труба $57,0 \times 3,5$ мм. Технологический процесс включает следующие операции:

- 1) забивку конца, травление, сушку;
- 2) волочение с $57,0 \times 3,5$ до $50,5 \times 2,15$ мм;
- 3) промежуточный отжиг, правку, травление, сушку;
- 4) волочение с $50,5 \times 2,15$ до $48,0 \times 1,85$ мм;
- 5) обрезку головки, разрезку трубы на две части, забивку концов, промежуточный отжиг, правку, травление, промывку, омеднение, сушку;
- 6) волочение с $48,0 \times 1,85$ до $44,5 \times 1,5$ мм;
- 7) промежуточный отжиг, правку, травление, промывку, омеднение, сушку;
- 8) волочение с $44,5 \times 1,5$ до $42,5 \times 1,2$ мм;

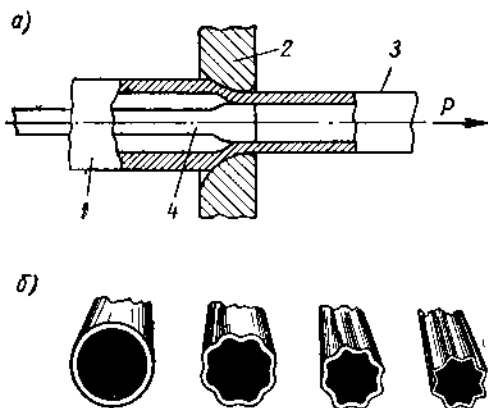


Рис. 64. Волочение труб

9) промежуточный отжиг, правку, травление, промывку, омеднение, сушку;

10) волочение с $42,5 \times 1,2$ до $40,0 \times 1,0$ мм;

11) окончательный отжиг;

12) предварительную правку;

13) отделку;

14) окончательную правку.

Трубы фасонного профиля помимо специальных целей часто применяются в качестве рабочих деталей машин для шпинделей металлорежущих станков, хлопкоуборочных машин и т. п. Исходным материалом для трубы фасонного профиля служит труба круглого сечения со стенкой требуемой толщины. Для получения заданного профиля труба несколько раз протягивается через волокна с отверстиями, обеспечивающими постепенное формоизменение.

В качестве примера на рис. 64, б приведены технологические переходы при изготовлении стальной гофрированной трубы. В данном случае труба приобретает необходимый фасонный профиль за три прохода без применения оправки. Изготовление труб квадратных, прямоугольных, многогранных и других сложных профилей осуществляется аналогичным способом без применения оправок.

§ 15. УСИЛИЕ ВОЛОЧЕНИЯ.

СМАЗКА ПРИ ВОЛОЧЕНИИ И КОНТРОЛЬ ПРОДУКЦИИ

Величина усилия волочения имеет большое значение при процессе волочения. Чем меньше усилие, тем меньше напряжение волочения (70) и, следовательно, тем меньше опасность обрывов, меньше расход энергии на процесс деформации, меньше износ инструмента.

К основным факторам, оказывающим влияние на величину усилия волочения, относятся: пластичность материала заготовки; соотношение диаметров проволоки (прутка) до и после волочения; угол наклона конуса фильера (рис. 61, а); коэффициент трения; наличие или отсутствие противонапряжения.

Усилие волочения определяют либо экспериментальным путем при помощи особых приборов (месдоз, силомеров), либо расчетным путем по соответствующим формулам.

Из числа наиболее известных формул для определения усилия волочения сплошных профилей можно рекомендовать упрощенную формулу Перлина—Заруева [67]

$$P = \sigma_{\theta \text{ ср}} F_1 \ln \frac{F_0}{F_1} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (75)$$

где P — усилие волочения в кг (н);

$\sigma_{\theta \text{ ср}} = \frac{\sigma_{\theta} + \sigma_{\theta \text{ с}}}{2}$ — среднее значение предела прочности материала до и после волочения в кг/мм^2 (н/мм^2);

F_0 и F_1 — сечение прутка до и после волочения в мм^2 ;

f — коэффициент трения;

α — угол наклона образующей конуса волокна к горизонтальной оси в град.

Для обеспечения нормального протекания процесса волочения поверхность протягиваемой проволоки необходимо смазывать, в противном случае происходит сильный износ инструмента, неизбежны частые обрывы и, кроме того, значительно повышается усилие волочения. Смазки, понижая коэффициент трения, должны плотно прилипать к поверхностям, хорошо сопротивляться выдавливанию и не взаимодействовать с обрабатываемым материалом.

В волочильном производстве применяются сухие, густые и жидкие смазки. Наиболее распространенной сухой смазкой, применяющейся при волочении сталей, является мыльный порошок. В качестве смазки при волочении сталей и никелевых сплавов может применяться также предварительно нанесенная на проволоку тонкая пленка меди. Жидкие смазочные составы (например, растительные и минеральные масла) применяются при волочении медно-никелевых сплавов.

Густые смазки в виде парафина, воска и подобные им применяются при волочении высокопрочных сплавов, а также при волочении меди и алюминия.

Готовая продукция волочения подвергается контролю. Контролируется ее геометрия, химический состав, механические, технологические и физические свойства, структура, упаковка и т. д.; трубы дополнительно подвергаются гидравлическим испытаниям.

Глава V

ПРЕССОВАНИЕ

Прессование представляет собой один из способов обработки металлов давлением, заключающийся в выдавливании металла из замкнутой области приемника (контейнера) через отверстие матрицы, соответствующее сечению выдавливаемого профиля (рис. 65).

Заготовка 2 (в холодном или горячем состоянии), помещенная в контейнер 1, выдавливается пуансоном 4 через отверстие матрицы 3, образуя изделие 5. Исходной заготовкой для прессования является либо слиток, либо прокат круглого, а иногда даже квадратного сечения.

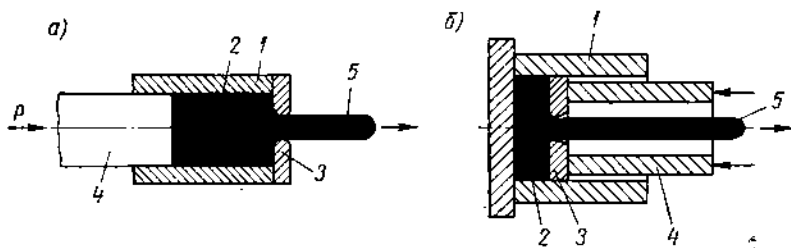


Рис. 65. Схемы прямого (а) и обратного (б) методов прессования

Горячим прессованием изготавливается разнообразный сортимент изделий из цветных металлов и сплавов, включающий прутки диаметром от 3 до 250 мм, трубы диаметром от 20 до 400 мм с толщиной стенки от 1,5 до 12 мм и различные сложные профили, изображенные на рис. 66. Точность прессованных изделий получается более высокой, чем при прокатке, что дает возможность свести к минимуму последующую холодную обработку заготовки. Изготовление прессованием сложных профилей является более экономичным, чем отливка или штамповка их с последующей механической обработкой.

Прессованием могут изготавливаться профили такой сложной формы, которая не может быть получена другим способом обработки металлов давлением. При изготовлении из цветных металлов труб диаметром менее 50 мм способ прессования является более экономичным [22], чем прокатка, и незаменимым при изготовлении труб диаметром менее 20—30 мм.

Так как прессование протекает в условиях схемы всестороннего неравномерного сжатия, то деформируемый металл приобретает высокую пластичность. Это обстоятельство дает возможность прессовать медь, все медно-цинковые сплавы (латуни, томпаки и полутомпаки), медно-никелевые сплавы (мельхиоры и нейзильберы), алюминиевые бронзы различного состава, оловянистые бронзы, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы, цинковые сплавы.

В последнее время прессованием успешно обрабатывают многие специальные стали, титановые сплавы и другие малопластичные металлы, что является одним из основных преимуществ прессования перед другими способами обработки металлов давлением.

Прессование отличается большей гибкостью процесса при получении различных профилей, чем другие методы обработки давлением. Заменяя детали рабочего инструмента (матрицу при прессовании прутков или матрицу и оправку при прессовании

труб), можно легко перейти от изготовления одного профиля (изделия) к другому. При этом смена инструмента при прессовании значительно проще смены валков при прокатке. Благодаря этому мелкие серии профилей более экономично изготовлять прессованием, чем прокаткой. Прессование осуществляется главным образом по двум методам — прямому и обратному.

Прямой метод (рис. 65, а) применяется для изготовления труб, прутков, профилей и заключается в том, что течение металла через отверстие матрицы и движение давящего на заготовку пуансона происходят в одном направлении.

Обратный метод (рис. 65, б) применяется для изготовления прутков, профилей, иногда для изготовления труб большого диаметра и характеризуется тем, что течение металла и движение пуансона с матрицей происходят в обратных направлениях, т. е. навстречу друг другу. Так как при прямом методе прессования заготовка перемещается внутри контейнера, а при обратном — остается неподвижной, то во втором случае вследствие уменьшения трения усилие прессования меньше.

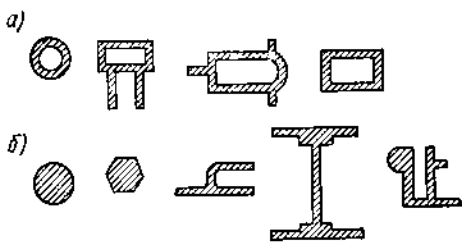


Рис. 66. Примеры профилей, получаемых прессованием: а — полые; б — сплошные

§ 16. ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Основными величинами, характеризующими деформацию при прессовании, являются коэффициент вытяжки (степень вытяжки) и степень деформации (степень обжатия).

Коэффициент вытяжки представляет собой отношение площади сечения контейнера F_0 к площади сечения отверстия F_1 матрицы (или всех отверстий $\sum F_1$) и выражается формулой

$$\mu = \frac{F_0}{\sum F_1}. \quad (76)$$

Степень деформации — это отношение разности между площадью сечения контейнера F_0 и площадью сечения отверстия F_1 матрицы (или всех отверстий $\sum F_1$) к площади сечения контейнера и выражается формулой

$$u = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%. \quad (77)$$

В случае прессования труб принимается соответствующее соотношение кольцевых площадей.

Степень деформации значительно влияет на характер истечения металла, на усилие прессования, а также на величину и равномерность механических свойств прессованных изделий. Исследованиями [22] прессования прутков из магниевого сплава с 90% Mg и 10% Al установлено, что при степени деформации менее 20% предел прочности прессованных прутков одинаков как в наружных, так и во внутренних слоях сечения. Увеличение степени деформации до 60% помимо увеличения предела прочности по абсолютной величине приводит к максимальной неравномерности его значений по сечению. Однако дальнейшее повышение степени деформации снижает эту неравномерность, а при степенях деформации около 90% устраняет ее вовсе, обеспечивая металлу максимальные значения предела прочности [5].

Прокатку, горячую штамповку, волочение и другие способы обработки металлов давлением никогда не производят с такой высокой степенью деформации, как прессование. Как правило, степень деформации при прессовании составляет 90%, а в некоторых случаях — 98% [5].

§ 17. ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА, СКОРОСТЬ И УСИЛИЕ ПРЕССОВАНИЯ.

ПРИНЦИП РАСЧЕТА ЗАГОТОВКИ И ВЫБОР КОНТЕЙНЕРА

Характером течения металла при любом способе обработки давлением называется последовательность перемещения отдельных участков обрабатываемой заготовки по ее сечению и длине.

Прессование отличается от других методов обработки давлением резким различием характера течения металла в начале и в конце процесса.

Для изучения характера течения металла часто применяется метод координатных сеток. Этот метод заключается в том, что

сначала заготовку разрезают вдоль оси (по диаметру); а затем на плоскости разреза одной из половинок заготовки наносят координатную сетку в виде рисок, глубина которых зависит от размера заготовки. Заготовку складывают, предварительно смазав разрезы смесью жидкого стекла с графитом, скрепляют проволокой, нагревают, затем проволоку удаляют и подвергают прессованию. После прессования половинки легко отделяются друг от друга и по искажению координатной сетки судят о характере интенсивности деформации. Иногда координатная сетка наносится и на торцы заготовки.

Размер области заготовки, в которой происходит наиболее интенсивная деформация (очаг деформации), не всегда одинаков; иногда он сосредоточен только около матрицы, иногда распространяется дальше, а иногда и на всю заготовку, находящуюся в контейнере.

При прессовании обычно имеет место неравномерное течение металла, заключающееся в более интенсивном вытекании средних слоев заготовки по сравнению с наружными, что приводит к образованию в задней части прессованного изделия неплотности, называемой *прессутяжкой*. На характер течения металла, а следовательно, и на прессутяжку влияют: контактное трение, температура металла и контейнера, состояние поверхности контейнера и матрицы, длина заготовки, профиль матрицы, смазка, скорость и степень деформации. Как указывает Унксов Е. П. [54], при длине заготовки больше ее диаметра характер течения металла и вид очага деформации полностью зависят от контактного трения, перепада температуры и смазки. Следовательно, изменяя тепловой режим прессования и условия трения металла о стенки контейнера и матрицы, можно изменять характер его течения, а также влиять на равномерность механических свойств изделия.

На основании исследований С. И. Губкина [9], очаг деформации может быть трех видов, которые изображены на рис. 67. *Первый вид очага* (рис. 67, а), сосредоточенного вблизи матрицы, соответствует малому коэффициенту трения (0,1—0,2), высокому качеству поверхности стенок контейнера, хорошей смазке и отсутствию перепада температуры между стенкой контейнера и поверхностью заготовки. При таком очаге обеспечивается наибольшая равномерность течения металла, а следовательно, более равномерные механические свойства по сечению изделия и меньший отход в виде прессутяжки. *Второй вид очага* (рис. 67, б) распространяется на всю высоту заготовки, и течение внутренних слоев ее происходит быстрее наружных. Такой очаг деформации образуется при средних коэффициентах трения (0,2—0,4) и наличии некоторой разницы в температурах поверхности заготовки и стенок контейнера. *Третий вид очага* (рис. 67, в) соответствует высоким значениям коэффициента трения (0,4—0,5) и значительной разнице в температурах поверхности заготовки и стенок

контейнера. При таком виде очага деформации неравномерность течения металла будет наибольшей, причем в области заготовки, примыкающей к пуансону (прессшайбе), наблюдается наименьшая деформация.

Обратному прессованию обычно соответствует первый вид очага, так как при этом способе заготовка не перемещается в контейнере, что соответствует меньшему трению. Следовательно, с точки зрения качества изделия становятся очевидными преимущества обратного метода прессования перед прямым. Необходимо

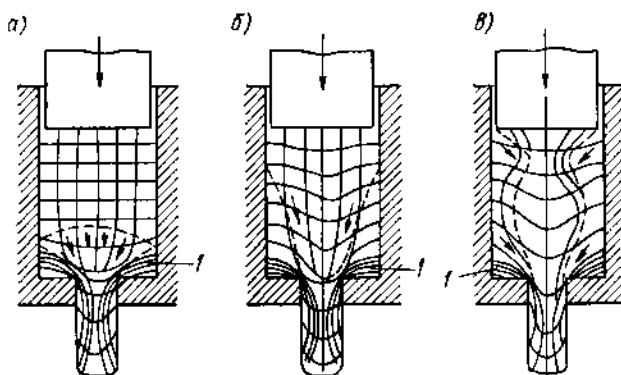


Рис. 67. Виды очага деформации при прессовании и характер течения металла

обратить внимание на то, что если в матрице или контейнере нет конической области (воронки), то в углах имеются зоны застоя металла, который совершенно не деформируется (рис. 67, зона I). Для исключения этого явления обычно применяются матрицы, имеющие заходную часть в виде воронки с центральным углом $110-130^\circ \left(\frac{11}{18} \div \frac{13}{18} \pi \text{ рад} \right)$.

Скорость течения металла при прессовании может достигать весьма больших значений. Например, при прессовании алюминиевой проволоки диаметром 6—8 мм из слитка диаметром 300 мм при коэффициенте вытяжки $\mu = 2500$ скорость течения составляет 25 м/сек. Однако в зависимости от температуры металла скорость течения может быть различной и при понижении температуры должна снижаться во избежание растрескивания изделия при выходе его из матрицы.

При прессовании медных труб допустимая скорость течения при температуре слитка $800-850^\circ$ составляет 5 м/сек, а при температуре 550° — около 2 м/сек. Металлы и сплавы, обладающие малой скоростью рекристаллизации, должны деформироваться с малой скоростью течения.

Усилие прессования определяется

$$P = pF_0, \quad (78)$$

где P — усилие прессования в кГ (н);

p — удельное давление течения металла в кГ/мм^2 (Мн/м^2);

F_0 — площадь поперечного сечения контейнера в мм^2 .

Для случая прессования прутков из цилиндрического контейнера через матрицу, имеющую коническую заходную часть и цилиндрическую выходную часть, удельное давление может быть вычислено по аналитической формуле, полученной Унковым Е. П. [54],

$$p = \sigma_r \left(\frac{2L_0}{D_0} + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{F_0}{F_1} + \frac{1/a}{D_1} \right); \quad (79)$$

где σ_r — предел текучести материала при данной температуре, определенный при линейном растяжении, в кГ/мм^2 (Мн/м^2);

L_0 , D_0 — длина и диаметр заготовки;

α — центральный угол конуса матрицы в $^\circ$ (рад);

F_0 , F_1 — поперечные сечение заготовки и выходного отверстия матрицы;

a — длина выходного цилиндрического участка матрицы, а D_1 — его диаметр.

Расчет размеров заготовки и выбор контейнера производится исходя из допустимых коэффициентов вытяжки. Диаметр исходной заготовки равен

$$D_0 = 2 \sqrt{\frac{\mu F_1}{\pi}}. \quad (80)$$

Диаметр контейнера принимается на 5—10 мм больше диаметра заготовки при прессовании на горизонтальных прессах и на 1—2 мм больше при прессовании на вертикальных. Длина заготовки определяется исходя из допустимой степени деформации, диаметра контейнера и длины хода плунжера пресса. Например, для получения прутков в диаметре от 150 до 250 мм, а также труб с внутренним диаметром от 150 до 300 мм и толщиной стенки от 25 до 50 мм, на прессе с усилием 5000 т (50 Мн) в контейнере с максимальным диаметром 500 мм могут деформироваться слитки из цветных металлов и сплавов диаметром 490 мм, длиной 800 мм.

§ 18. ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ.

ИНСТРУМЕНТ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ

При прессовании большое значение имеет подготовка слитков, заключающаяся в их резке на части, в некоторых случаях обработке наружной поверхности и, если требуется, расточке отверстия (для прессования труб). На поверхности слитков не должно

быть остатков шлака, раковин, трещин и других дефектов глубиной больше 3 мм.

Слитки из алюминиевых и магниевых сплавов обтачиваются на станках. Слитки из медных, никелевых и других сплавов прессуются без обточки, так как эффект обточки не достигает цели из-за последующего окисления при нагреве. Для нагрева слитков или заготовок, как правило, применяют мазутные печи и электропечи сопротивления. В последнее время установлено, что производительность и экономичность прессования можно повысить за

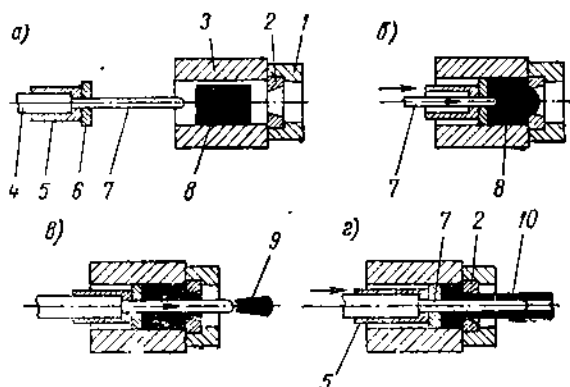


Рис. 68. Схем: технологии прессования трубы прямым методом: а — момент загрузки заготовки; б — момент начала прошивки; в — конец прошивки; г — выдавливание

счет осуществления нагрева заготовок индукционным методом, обеспечивающим большую скорость нагрева и малый угар металла.

В качестве примера технологии прессования рассмотрим прессование трубы по прямому методу (рис. 68). При прессовании труб на конце пуансона укрепляется игла. В зависимости от конструкции прессы крепление иглы на пуансоне бывает неподвижным и подвижным. В первом случае игла перемещается одновременно с пуансоном, во втором — игла имеет самостоятельное движение (как отдельно от пуансона, так и вместе с ним).

Прессование труб на прессе с самостоятельным движением иглы производится по схеме, изображенной на рис. 68. Нагретый слиток 8, загруженный в контейнер 3, сжимается пуансоном 5 с укрепленной на его конце прессшайбой 6 (рис. 68, а). Конец иглы 7 частично внедряется в слиток 8 (рис. 68, б), после чего игла, укрепленная в иглодержателе 4, проходя через пуансон 5, прошивает слиток, выдавливая из него через матрицу 2, укрепленную в матрицедержателе 1, часть металла заготовки в виде усеченного конуса, называемого пробой, или выдрой 9 (рис. 68, в). За счет дальнейшего поступательного движения пуансона 5 слиток в виде трубы 10 выпрессовывается через кольцевой зазор, образо-

ванный отверстием матрицы 2 и иглой 7 (рис. 68, з). Наружный диаметр трубы 10 получается равным диаметру матрицы 2, а внутренний — диаметру иглы 7.

При прессовании труб так же, как и при прессовании прутков, из-за неравномерности вытекания металла в конце процесса приходится оставлять часть металла заготовки в контейнере для того, чтобы предотвратить попадание прессутяжки в изделие. Прессостаток представляет основную часть потерь металла при прессовании, и в зависимости от характера течения металла высота его может колебаться в пределах 5—30% от диаметра слитка. Чем равномернее течение металла при прессовании, тем меньше прессутяжка и тем меньше отход на прессостаток. После окончания прессования пресс-остаток подлежит отрезке от основного изделия.

В последнее время при производстве труб большого диаметра получил промышленное применение метод комбинированного прессования, объединяющий оба вида течения металла — прямое и обратное. При этом методе прошивка производится по обратному методу, а прессование трубы — по прямому. Указанный метод по сравнению с обычным методом прессования труб позволяет сократить отход металла при прошивке слитка в 30—40 раз.

После прессования изделия подвергаются соответствующей термообработке, например отжигу, закалке, старению и т. д., а также правке, резке и другим операциям, обусловленным ГОСТом на сортамент. Инструмент для прессования работает в тяжелых условиях, так как испытывает действие больших нагрузок и высоких температур. Поэтому он изготавливается из высококачественных специальных сталей. Детали инструмента, соприкасающиеся непосредственно с нагретым металлом, обычно изготавливаются из сталей 5ХНВ, 7ХЗ, 3Х2В8, ЭИ617, ЭИ661 и др.

Поскольку прессование ведется с весьма значительными степенями деформации, то для осуществления этого процесса машины должны развивать большие усилия. Наиболее приемлемым оборудованием, с этой точки зрения, являются гидравлические прессы, которые в зависимости от вида продукции прессования бывают горизонтальными или вертикальными. Конструкция гидравлических прессов, применяющихся при прессовании, принципиально не отличается от прессов, применяющихся для свободнойковки. Для прессования используются прессы с усилиями от 300 т (3,0 Мн) до 25 000 т (250 Мн) и более.

§ 19. ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ СТАЛЕЙ

Основными факторами, создающими отличительные особенности прессования стали от прессования цветных металлов и сплавов являются: более высокое сопротивление деформации сталей по сравнению с цветными металлами и сплавами, более высокая температура горячей деформации сталей и большее окалинообразова-

ние (у некоторых сталей). Под влиянием этих факторов стойкость инструмента может составлять всего несколько операций. Тем не менее установлено, что прессование прутков с небольшой серией гораздо выгоднее прокатки, особенно для профилей, которые изготовить прокаткой трудно или вовсе невозможно.

В настоящее время прессованием обрабатывают углеродистые стали марок 20, 35, 45, 50, конструкционные 30ХГСА, 40ХН, нержавеющие стали Х18Н9Т, ЭИ69 и другие высоколегированные стали. Размеры стальных прессованных изделий ГОСТом пока не предусматриваются. Например, заводы производят трубы с внутренним диаметром от 30 до 165 мм при толщине стенки от 2 до 10 мм, профили с толщиной полки 2—2,5 мм с линейными размерами поперечных сечений до 200 мм [5].

Для обеспечения высоких и равномерных механических свойств по сечению стального изделия степени деформации должны быть: при литой заготовке не менее 80—85%, а при катаной не менее 60%. Скорость истечения при прессовании стальных профилей должна быть достаточно высокой, для того чтобы падение температуры заготовки было наименьшим. Поэтому прессование углеродистых и низколегированных сталей производят со скоростями 3—6 м/сек, а высоколегированных 1—2 м/сек [5].

Удельные давления при прессовании стали достигают 130—160 кг/мм² (1300—1600 Мн/м²). При таких давлениях инструмент для прессования, особенно матрицы, должен быть высокопрочным и износостойким при повышенной температуре. Наилучший результат достигается при изготовлении матриц из жаропрочных сплавов, например марки ЖС6. Этот сплав применяется для матриц при прессовании углеродистых, нержавеющих и даже жаропрочных сталей. Иногда матрицы изготавливаются с наплавкой из твердых сплавов ВК2 или ВК3.

Важной особенностью прессования сталей является применение быстрого нагрева (например, электронагрева) и специальной смазки инструмента. Быстрый нагрев уменьшает окалинообразование, в результате чего снижается трение и повышается стойкость инструмента. Смазка повышает стойкость инструмента и замедляет охлаждение заготовки. Наилучшие результаты дают стеклянные смазки в виде стеклянной ваты, порошка и др.

В последние годы горячему прессованию стальных изделий придается огромное значение. В целом ряде случаев применение прессования для получения заготовок сложной формы значительно целесообразнее метода горячей объемной штамповки. Например, преимущества прессования видны при изготовлении таких трудоемких деталей, как лопатки турбин. Переход с объемной штамповки поковки лопатки на прессование сокращает припуск на механическую обработку и кроме того повышает работоспособность лопаток за счет более однородной структуры металла по сечению их рабочей части (пера).

§ 20. ХОЛОДНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ (ПРЕССОВАНИЕ)

Разновидностью прессования является холодное выдавливание, осуществляемое в штампах. Холодное выдавливание производится по трем методам: прямому, обратному и комбинированному, — схемы которых изображены на рис. 69.

В качестве исходных заготовок могут использоваться заготовки, вырубленные из листа, прутковые или профилированные. С по-

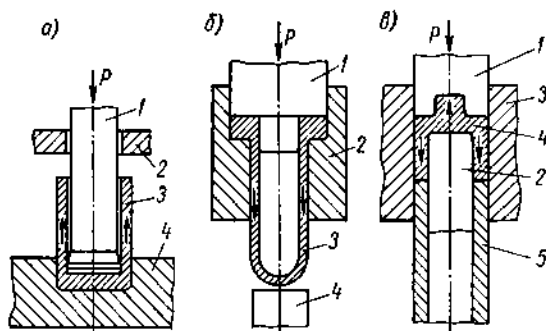


Рис. 69. Схемы методов холодного выдавливания:
а — обратный метод:

1 — пуансон; 2 — съемник; 3 — изделие; 4 — матрица;

б — прямой метод:

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — изделие; 4 — выталкиватель;

в — комбинированный метод:

1 — верхний пуансон; 2 — нижний пуансон; 3 — матрица;
4 — изделие; 5 — выталкиватель

мощью выдавливания изготавливаются самые разнообразные детали, например стаканчики, гильзы, баллончики, сифонные трубки, валики, болты, гайки, маховички, ступицы, фланцы и др.

Материалом для выдавливания могут служить как цветные металлы и их сплавы, так и стали. Сравнительно новым вопросом является изготовление холодным выдавливанием деталей из стали. По сравнению с цветными металлами сталь значительно труднее поддается холодному выдавливанию. Для получения стальных изделий этим методом необходимо точное соблюдение ряда условий, касающихся выбора материала матриц и пуансонов, его термической обработки, качества и свойств подвергающейся выдавливанию стали, скорости выдавливания, размеров и формы изделия, методов смазки и т. д.

Вследствие того что холодное выдавливание протекает в условиях преобладания схемы всестороннего неравномерного сжатия, то принципиально почти все стали могут быть подвергнуты этому процессу. Но несмотря на это из-за возникающих больших давлений, перегружающих инструмент, существуют некоторые

ограничения. Таким образом, границы экономичного применения холодного выдавливания стальных изделий обусловлены допустимыми удельными давлениями в инструменте и пластическими свойствами обрабатываемой стали. Некоторые исследователи [56] считают, что процессы, при которых удельные давления в инструменте превышают 250 кг/мм^2 (2500 Мн/м^2) или состав стали не допускает за один переход степень деформации более 25%, являются неэкономичными.

Так как наибольшее количество деталей машин изготавливается из конструкционных сталей, то исключительно важным является вопрос разработки условий их холодного выдавливания. В ряде случаев довольно успешно изготавливаются изделия методом холодного выдавливания из сталей марок 15 кп, стали 35, 15Х, 20ХГ, 40Х, 25Х2МФА, 35ХЮА и др. Некоторые стали возможно обрабатывать даже со степенью деформации до 90%.

На величину удельного давления при холодном выдавливании сталей, а следовательно, и на работу штампового инструмента особое влияние оказывают механические свойства деформируемой стали, степень деформации, толщина стенки выдавливаемого стакана (или диаметр сплошного изделия), способ выдавливания, угол конусности входного отверстия матрицы, угол конусности пуансона, смазка. Например, при обратном выдавливании стакана из малоуглеродистой стали ($\sigma_s = 38 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_T = 26 \text{ кг/мм}^2$) при степени деформации 30% удельное давление составляет около 140 кг/мм^2 (1400 Мн/м^2), а при степени деформации 60% — около 240 кг/мм^2 (2400 Мн/м^2). Экспериментально установлено, что стальные изделия нецелесообразно изготавливать выдавливанием с толщиной стенки не менее 4—4,5 мм, так как при малой толщине стенки резко возрастает удельное давление, величина которого даже для малоуглеродистой стали будет превышать 250 кг/мм^2 (2500 Мн/м^2) [56].

При выдавливании сплошных деталей удельные давления значительно ниже, чем при выдавливании полых. Например, при выдавливании стержней из малоуглеродистой стали (механические свойства указаны выше) при степени деформации 40% удельное давление составляет около 25 кг/мм^2 (250 Мн/м^2), а при степени деформации 70% — около 100 кг/мм^2 (1000 Мн/м^2). При конструировании штампов для холодного выдавливания следует помнить, что оптимальным центральным углом заходного конуса матрицы, при котором наблюдается минимальная величина удельного давления, является угол в $120\text{—}130^\circ$ ($\frac{2}{3} \pi \div \frac{13}{18} \pi \text{ рад}$). Для снижения удельного давления торец пуансона рекомендуется делать коническим с центральным углом $162\text{—}166^\circ$ ($\frac{162}{180} \pi \div \frac{166}{180} \pi \text{ рад}$).

В связи с тем что матрицы штампов для холодного выдавливания подвергаются значительным радиальным напряжениям,

с целью повышения срока службы их запрессовывают с соответствующим натягом в обоймы. Количество обойм может быть от 1 до 3. В качестве примера на рис. 70 изображена схема штампа для прямого выдавливания полых деталей.

Материалами для рабочих частей штампа служат как инструментальные стали марок Х12М, ХВГ, так и твердые сплавы типа быстрореза. Обоймы для матриц изготавливаются из сталей марок 5ХНМ, 5ХНВ, 30ХНЗ и др. Холодное выдавливание стальных изделий целесообразно применять в условиях массового производства, так как стоимость штампов довольно высока. Большим преимуществом холодного выдавливания стальных изделий является их высокая точность, достигающая 0,1—0,2 мм.

Качество поверхности деталей, полученных холодным выдавливанием, превосходит качество поверхности поковок, изготовленных горячей штамповкой с последующей холодной калибровкой. Отход металла при применении холодного выдавливания по сравнению с горячей штамповкой может быть сокращен на 60—70%. Имеются сведения [56], что холодным выдавливанием из малоуглеродистых сталей в США изготавливают детали диаметром до 160 мм и длиной до 1500 мм. Средняя стойкость рабочих деталей (пуансонов и матриц) штампов при холодном выдавливании составляет от 4000 до 50 000 шт. изделий. Весьма важным фактором, влияющим на стойкость штампов, является смазка и подготовка поверхности заготовок под смазку. Экспериментально установлено [56], что перед выдавливанием поверхность стальной заготовки следует фосфатировать. Фосфатированный слой, будучи пористым, хорошо удерживает смазку. В качестве смазок применяются различные вещества, например стеариновая кислота, минеральные масла, животные и растительные жиры и т. п.

Основным оборудованием для холодного выдавливания служат различные прессы: кривошипные, эксцентриковые, кривошипно-коленные (чеканочные), а также гидравлические.

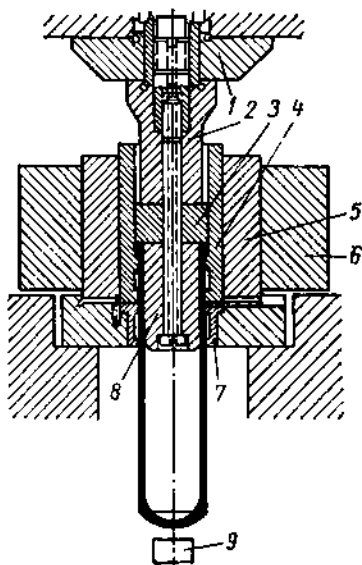


Рис. 70. Схема штампа для прямого выдавливания полых деталей:

1 — верхняя плита; 2 — хвостовик пуансона; 3 — пуансон; 4 — матрица; 5 — первая обойма; 6 — вторая обойма; 7 — направляющее кольцо; 8 — головка пуансона; 9 — выталкиватель

Глава VI

СВОБОДНАЯ КОВКА

Свободной ковкой называется способ горячей обработки металлов давлением, осуществляемый при помощи удара или нажатия бойка. При этом течение металла происходит в направлениях, не ограниченных поверхностями инструмента. Свободная ковка применяется в мелкосерийном, а также в индивидуальном производстве и в настоящее время является единственным способом

изготовления тяжелых поковок (до 250 т и более) типа валов гидротурбин, турбинных дисков и т. д.

В качестве исходной заготовки для свободнойковки используются слитки весом до 320 т, а также прокат квадратного, круглого или прямоугольного сечения. Применяемые для свободнойковки слитки могут иметь различную форму сечения (рис. 71). Крупные слитки имеют многогранное сечение (6—12 граней — рис. 71, в); слитки небольшого веса (до 2—3 т), особенно из легированных сталей, имеют круглое или квадратное сечение (рис. 71, а и б). Из слитков изготавливаются такие крупные поковки, как роторы генераторов, цельнокованные барабаны для сосудов и котлов высокого давления и др. По форме слитки подразделяются на малоприбыльные, бесприбыльные, полые и удлиненные. Из малоприбыльных или бесприбыльных слитков обычно изготавливают пустотелые поковки типа труб, колец, венцов шестерен, пустотелых валов и т. п. Технология изготовления таких поковок составляется с учетом удаления дефектного металла сердцевины слитка. Полые слитки из легированных сталей используются для изготовления поковок баллонов и труб, испытывающих высокие давления. Применение полых слитков позволяет получить высококачественные поковки и снизить до 12—15% расход металла. Удлиненные слитки обычно используются для изготовления относительно

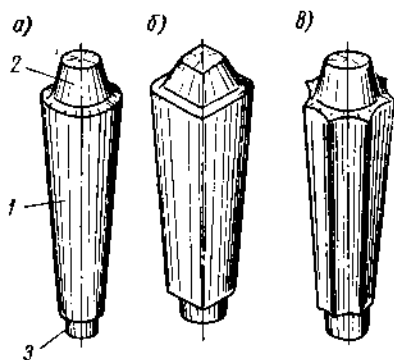


Рис. 71. Слитки различной формы поперечного сечения:

1 — средняя часть слитка; 2 — прибыльная часть; 3 — донная часть

Удлиненные слитки обычно используются для изготовления относительно

длинных валов, осей и других поковок подобного типа. Поковки малого и среднего веса (такие как вагонные оси, небольшие коленчатые валы, шатуны, различные рычаги, заготовки для штампового инструмента и др.) изготавливаются из сортового проката и блюмов.

§ 21. ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ КОВКЕ. ВЛИЯНИЕ КОВКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

Величина деформации при свободной ковке может быть выражена либо *относительным изменением площадей поперечного сечения*¹

$$u = \frac{F_0 - F_1}{F_1} \cdot 100\%,$$

либо *коэффициентом уковки*

$$y = \frac{F_0}{F_1}, \quad (81)$$

где F_0 — большая площадь поперечного сечения;

F_1 — меньшая площадь поперечного сечения.

Коэффициент, или степень уковки, как видно из формулы (81), и при осадке, и при вытяжке всегда больше единицы.

Уковка показывает, во сколько раз изменилось поперечное сечение заготовки в процессековки, т. е. характеризует степень прокованности металла, ибо чем больше изменено поперечное сечение, тем он лучше прокован, тем выше механические свойства металла. Коэффициентом уковки пользуются при расчете поперечного сечения исходной заготовки.

Горячая обработка давлением весьма существенно влияет на макро- и микроструктуру металла, и в особенности резко это влияние сказывается на литом металле.

На рис. 72 изображена схема строения стального слитка. Слиток вследствие неоднородности по структуре и химическому составу как в пределах зерна, так и по объему, а также из-за наличия пор, газовых пузырей и других дефектов не может быть непосредственно использован для изготовления деталей машин и конструкций. Для устранения перечисленных дефектов слитки подвергаются горячей обработке давлением — прокатке или ковке.

При ковке (прокатке) литого металла первичные кристаллы (дендриты) дробятся и вытягиваются в направлении наибольшей деформации; в результате протекания процессов рекристаллизации деформированный металл приобретает зернистую микроструктуру.

¹ В некоторых случаях степень деформации удобно выражать отношением изменения линейных размеров к исходным.

туру. Одновременно с дендритами вытягиваются и их границы, представляющие собой неметаллические вещества, создавая так называемую волокнистую макроструктуру. На рис. 73, а изображена макроструктура литой стали, а на рис. 73, б — ее макроструктура после горячей обработки давлением.

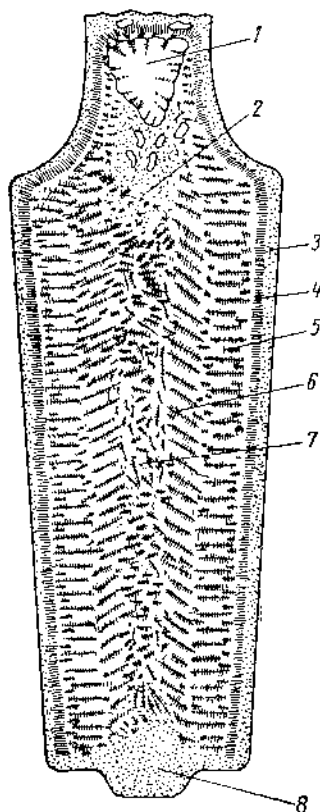


Рис. 72. Схема строения стального слитка (по Н. А. Минкевичу):

1 — усадочная раковина; 2 — усадочная рыхлость; 3 — зона плотного зернистого строения; 4—5 — зоны мелких и крупных столбчатых кристаллов, ориентированных перпендикулярно к стенкам изложницы; 6 — зона крупных дендритов, наклоненных к стенкам изложницы; 7 — зона средних и крупных дендритов, различно ориентированных; 8 — часть слитка с плотным зернистым строением

При горячей деформации происходит также заваривание пузырей, трещин, пор, и металл несколько уплотняется. Кроме того, при горячей обработке давлением вследствие протекания диффузионных процессов происходит некоторое выравнивание химического состава. В результате горячей обработки давлением металл становится более прочным и пластичным. Однако вследствие образования волокнистой макроструктуры металл приобретает анизотропию. При сравнительно неизменных во всех направлениях характеристиках прочности характеристики пластичности (в особенности ударная вязкость) металла вдоль волокон получаются выше, чем поперек волокон. Увеличение коэффициента уковки приводит к повышению характеристик пластичности металла вдоль волокон и падению их в поперечном направлении.

Практикой установлено, что для получения качественных поковок из конструкционных сталей степень уковки для слитков должна быть не менее 2,5—3, а для проката 1,1—1,3. В тех случаях, когда производитсяковка сталей карбидного класса, например быстрорежущей или инструментальной стали марки X12M, в которых содержатся трудно разрушаемые карбиды и ледебуритная эвтектика, степень уковки для слитков должна приниматься не меньше 10—12.

В связи с анизотропией механических свойств металла после деформирования его в горячем состоянии при разработке технологического процесса изготовления деталей рекомендуется учитывать направление волокна в зависимости от условий их работы. Волокна должны или огибать контур детали, или совпадать

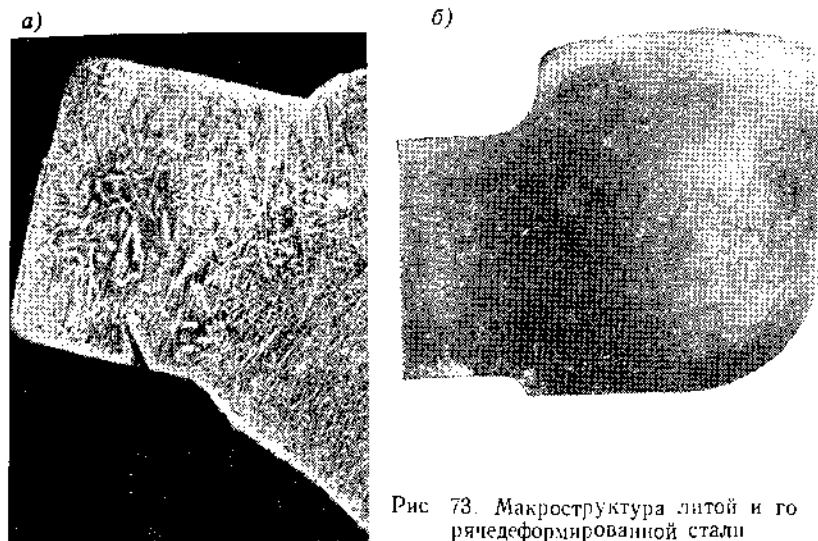


Рис 73. Макроструктура литой и горячей деформированной стали

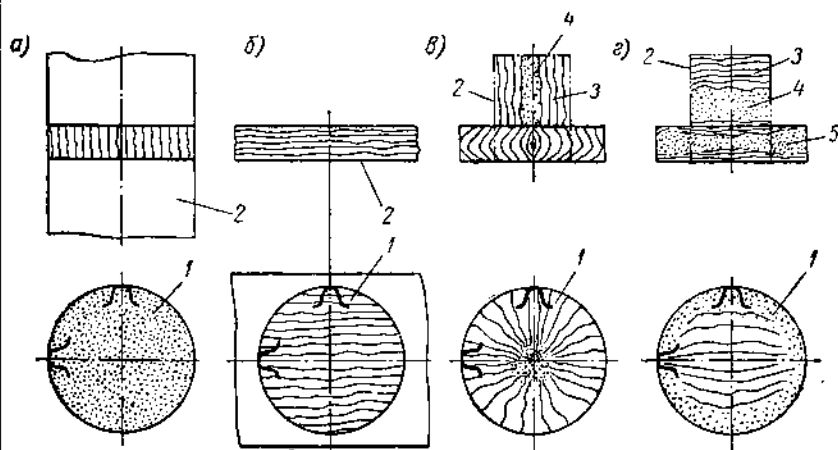


Рис. 74. Изготовление шестерни 1 резанием из заготовки 2 с различным направлением макроволокна: а — из проката в виде прутка; б — из листового проката; в — из пруткового проката, подвергнутого предварительной осадке вдоль волокна; г — из проката, подвергнутого предварительной осадке поперек волокна;

1 — шестерня; 2 — заготовка; 3 — волокно в исходной заготовке; 4 — ликвационная зона в исходной заготовке; 5 — ликвационная зона в поковке

с направлением максимальных нормальных напряжений, возникающих в детали во время ее работы, и по возможности не должны перерезаться. В качестве примера на рис. 74 изображены случаи изготовления шестерни резанием из заготовки с различным направлением волокна.

Из приведенных на рис. 74 четырех случаев наиболее благоприятным является случай изготовления шестерни из проката, подвергнутого осадке вдоль волокон (рис. 74, а). Следует отметить, что несмотря на наличие в прокате (круг, квадрат) волокнистой макроструктуры в его осевой зоне может сохраниться ликвация и поэтому, если производить осадку поперек направления волокна (рис. 74, г), осевая зона вследствие контактного трения может быть выведена наружу и тем самым оказаться в области зубьев шестерен. Зубья шестерни, изготовленной по такой технологии, будут подвергаться быстрому износу и даже поломке. Во избежание этого явления при изготовлении поковок типа тел вращения с рабочим участком в области обода, рекомендуется производить осадку в направлении волокна, как это изображено на рис. 74, в. Так как механическая обработка не позволяет сохранить волокно непорезанным, то ни один из приведенных на рис. 74 случаев изготовления шестерни не обеспечивает в полной мере условия огибания волокном контура зубьев. Наиболее приемлемым с этой точки зрения может являться лишь метод изготовления шестерен методом накатки (см. § 44).

§ 22. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ СВОБОДНОЙ КОВКИ И ПРИМЕНЯЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ

К основным операциям свободнойковки относятся: осадка, вытяжка, гибка, закручивание, рубка, прошивка и штамповка в подкладных штампах.

О с а д к о й называется операция увеличения площади поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты (рис. 75, а). Осадка применяется при изготовлении поковок с большими поперечными сечениями и относительно малой высотой (шестерни, диски и т. п.). При изготовлении пустотелых поковок типа колец, барабанов и подобных им осадка применяется как предварительная операция. Разновидностью осадки является высадка, заключающаяся в местном увеличении поперечного сечения (рис. 75, б). Высадка обычно применяется для получения головок болтов, буртов, фланцев и т. п.

В ы т я ж к о й называется операция увеличения длины исходной заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения (рис. 75, в). Вытяжка применяется при изготовлении поковок с удлиненной осью (валов, рычагов, шатунов, тяг и т. п.) и является наиболее распространенной операциейковки. Она производится последовательными ударами или нажатиями на отдельные

участки заготовки, примыкающие один к другому. При деформации заготовки образуется выпучивание ее граней, не соприкасающихся с бойками. Для устранения этого явления в процессе вытяжки заготовку периодически или после каждого удара (нажима) кантуют (поворачивают) на 90° ($\pi/2$ рад) вокруг ее оси.

На интенсивность вытяжки оказывает влияние ширина и форма применяемых бойков, состояние их поверхности и длина деформируемого участка заготовки. Чем выше чистота поверхности бойков, чем меньше их ширина и чем меньше длина деформируемого участка заготовки, тем интенсивнее вытяжка. Интенсивность вытяжки увеличивается при применении вырезных бойков вместо плоских. Последовательное чередование вытяжки и осадки позволяет значительно снизить анизотропию механических свойств.

Разновидностями вытяжки являются: раскатка (раздача), разгонка (расплющивание, уширение) и т. п. Вытяжка на оправке представляет собой операцию увеличения длины пустотелой поковки за счет уменьшения ее наружного диаметра и толщины стенок. Эта операция применяется при

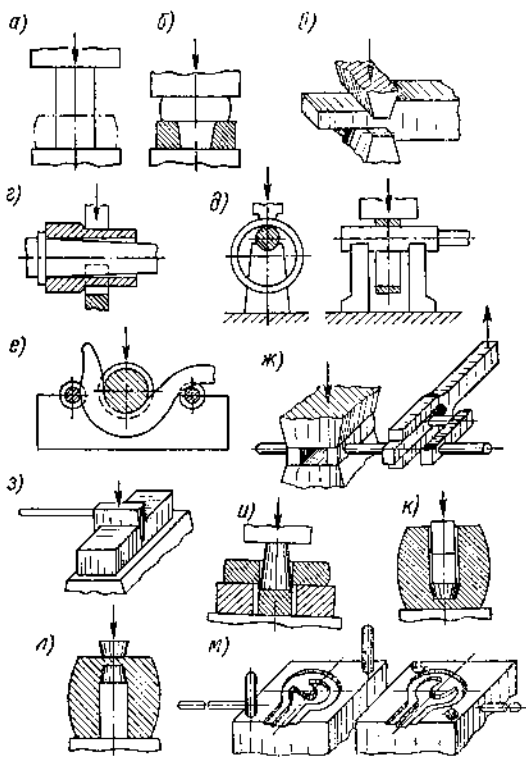


Рис. 75. Схемы основных операций свободнойковки

изготовлении пустотелых поволоков типа орудийных стволов, котельных барабанов, турбинных роторов и др. Этой операции подвергаются предварительно прошивные заготовки, которые надеваются на оправку и обжимаются, как сплошные заготовки, при помощи вырезных или плоских бойков. На рис. 75, г изображена вытяжка трубы на оправке с помощью вырезного и плоского бойков. Раскатка на оправке (раздача) представляет операцию увеличения наружного и внутреннего диаметров пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 75, д) и применяется при изготовлении колец, бандажей, барабанов и т. п.

Г и б к о й называется операция, посредством которой заготовке придают изогнутую форму по заданному контуру (рис. 75, е). Этой операцией изготавливаются угольники, скобы, крюки, кронштейны и т. п. При гибке происходит изменение площади поперечного сечения заготовки в зоне изгиба вследствие сжатия внутренних и растяжения наружных ее слоев, называемое утяжкой. Для компенсации утяжки в месте изгиба заготовке придают увеличенный размер по толщине. При изгибе возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Во избежание этого явления подбирают соответствующий радиус закругления и угол изгиба. Помимо заготовок сплошного профиля гибке могут подвергаться также трубы, для чего последние наполняются песком и плотно забиваются с обеих сторон пробками.

З а к р у ч и в а н и е представляет операцию поворота одной части поковки относительно другой вокруг продольной оси. Закручивание применяется при развороте колен коленчатых валов (рис. 75, ж), при изготовлении сверл и т. п. При закручивании обычно одну часть поковки зажимают между бойками молота или пресса, а другую разворачивают с помощью различного рода приспособлений — воротков, ключей, лебедок и др.

Р у б к о й называется операция отделения одной части заготовки или поковки от другой (рис. 75, з). Применяется рубка для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах заготовок или поковок, для удаления излишков металла во внутреннем контуре поковки (вырубка), для удаления прибыльной и довной частей слитка и т. п. Рубка производится при помощи топоров различной формы (рис. 76, а).

П р о ш и в к о й называется операция получения в заготовке отверстия (рис. 75, и, к, л). Инструментом для прошивки является прошивень, который может быть сплошным или пустотелым (рис. 76, д). При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяются подкладные кольца (рис. 75, и), для высоких поковок — помимо прошивня применяются еще надставки (рис. 75, к). Отверстия до 400—500 мм в диаметре прошиваются сплошными прошивнями. Отверстия диаметром 300—900 мм прошиваются пустотелыми прошивнями. Прошивка пустотелыми прошивнями во многих случаях имеет цель удалить из заготовки центральную ликвационную зону и использовать более качественный металл периферийных зон слитка.

При изготовлении в условиях мелкосерийного производства партии поковок с относительно сложным контуром, который трудно выполнить перечисленными выше операциями, применяется так называемая **ш т а м п о в к а в п о д к л а д н ы х ш т а м п а х** (рис. 75, м). В подкладных штампах могут изготавливаться головки гаечных ключей, головки болтов, валики с буртиками и другие поковки.

Технологический процессковки осуществляется при помощи различных инструментов и приспособлений. Кузнечный инструмент в зависимости от назначения разделяется на основной, вспомогательный и мерительный. К *основному* относится инструмент (рис. 76), с помощью которого заготовке придается требуемая форма: бойки (*а*), обжимки (*б*), раскатки (*в*), топоры (*г*), прошивни (*д*). Форма и размер бойков (рис. 76, *а*) оказывают большое влия-

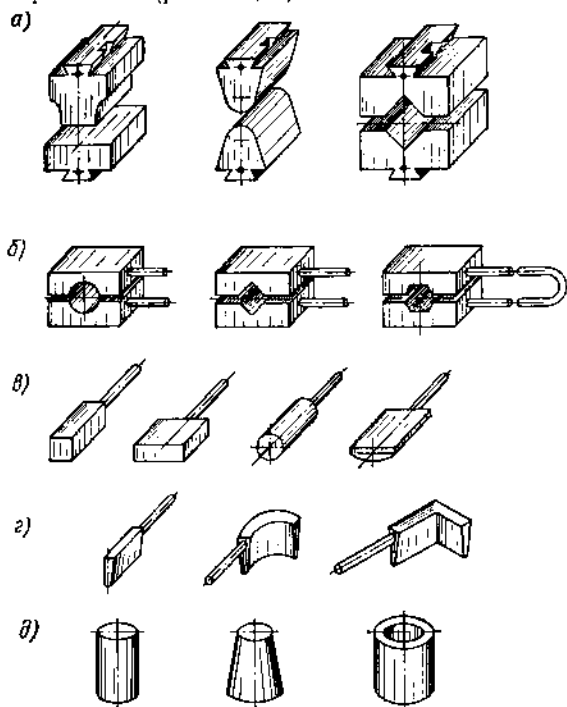


Рис. 76. Основной кузнечный инструмент

ние на процессковки. Применение вырезных бойков вместо плоских обеспечивает меньшее уширение поковки, вследствие чего времяковки сокращается на 20—25%. Приковке малопластичных сталей форма и размер бойков оказывает влияние не только на производительность, но и на качество поковок. С применением вырезных бойков вследствие более благоприятной схемы напряженного состояния снижается вероятность образования трещин в поковках.

Обжимки (рис. 76, *б*) применяются в основном для отделочных операций, для получения более точной формы и размеров поперечного сечения поковки. Раскатки (рис. 76, *в*) предназначены для повышения интенсивности вытяжки, для создания углублений, а также для расплющивания заготовки.

К *вспомогательному* — относится инструмент, с помощью которого производится захват, перемещение и вращение заготовки

(клещи, патроны, воротки и т. п.); *к мерительному* — инструмент, с помощью которого производится контроль размеров (кронциркули, ливейки, угольники, шаблоны и пр.).

§ 23. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК СВОБОДНОЙ КОВКОЙ

Разработка технологического процесса свободнойковки включает: 1) составление чертежа поковки; 2) расчет размеров и веса заготовки; 3) выбор кузнечных операций и установление их последовательности с указанием необходимого основного и вспомогательного инструмента и приспособлений; 4) выбор печи для нагрева; 5) установление режимов нагрева, охлаждения, а также (если требуется) промежуточной термической обработки; 6) выбор кузнечного оборудования и его мощности; 7) определение состава кузнечной бригады и норм выработки.

Составление чертежа поковки

Разработка технологического процесса начинается с составления чертежа поковки на основании чертежа готовой детали. Для этой цели по ГОСТу выбираются припуски, допуски и принимаются, если требуется, напуски.

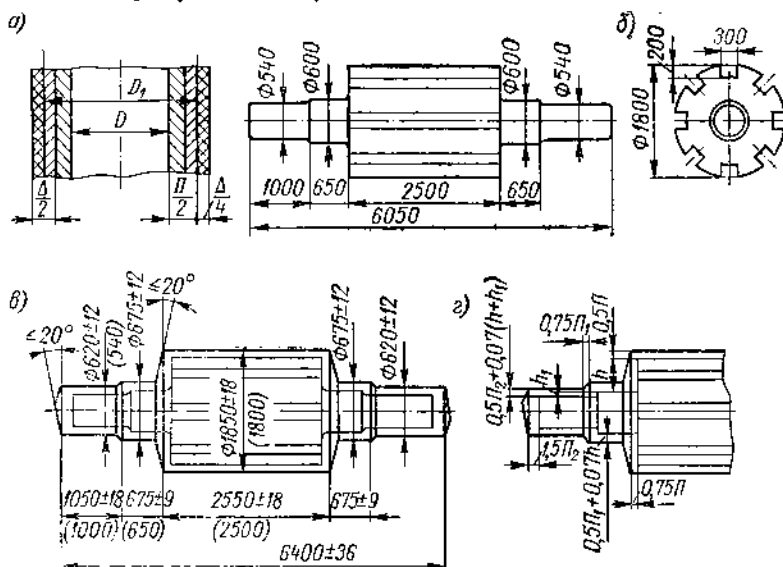


Рис. 77. Пример составления чертежа поковки роторного вала с пазами дляковки на прессе: *а* — схема распределения припуска и допуска; *б* — чертеж поковки; *в* — чертеж роторного вала с пазами; *г* — расчет и распределение припусков

П р и п у с к — предусмотренное превышение размеров поковки против номинальных размеров детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые чертежом размеры детали и чистоту ее поверхности (рис. 77, а).

Д о п у с к — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки (рис. 77, а).

Н а п у с к — увеличение припуска, упрощающее конфигурацию поковки ввиду невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали (рис. 77, в).

Припуски и допуски зависят от размеров поковки, ее конфигурации, материала и рода заготовки (слиток, прокат), от способа обработки давлением и типа оборудования, применяемого для ее изготовления. Припуски и допуски на стальные поковки, изготавливаемые на прессах, устанавливаются по ГОСТу 7062—54, а на поковки, изготавливаемые на молотах, — по ГОСТу 7829—55. На рис. 77 изображена схема распределения припусков и допусков, а также приведен пример составления чертежа поковки роторного вала с пазами для ковки на прессе. Так как пазы на роторном валу, изображенном на рис. 77, б, выполнить свободной ковкой невозможно, то чертеж поковки (рис. 73, в) составляется с учетом в этих местах напусков.

Расчет размеров и веса заготовки

Вес поковки или заготовки определяется исходя из объема, вычисляемого по ее номинальным размерам, обозначенным на чертеже. Для вычисления объема поковки ее чертеж разбивают на отдельные части, имеющие простейшие геометрические формы. Зная удельный вес металла, подсчитывают вес поковки.

Расчет заготовки из слитка. Расчет заготовки из слитка включает в себя определение объема слитка $V_{\text{заг}}$, его веса $G_{\text{заг}}$, среднего поперечного сечения $F_{\text{заг}}$ и длины заготовки $L_{\text{заг}}$. Объем заготовки определяется из основного уравнения

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{пр}} + V_{\text{дон}} + V_{\text{обс}} + V_{\text{уг}}, \quad (82)$$

где $V_{\text{пок}}$ — объем поковки;

$V_{\text{пр}}$ — объем прибыльной части, составляющей 20—30% от объема слитка;

$V_{\text{дон}}$ — объем донной части, составляющий 5—10% от объема слитка;

$V_{\text{обс}}$ — объем обсечек, принятый равным для простых поковок (валы гладкие, диски) 5—8% от объема слитка, а для сложных поковок (коленчатые валы) — 20—30%;

$V_{\text{уг}}$ — угар металла, принимаемый равным за первый нагрев 2—3% от объема слитка, а при последующих подогревах — 1—1,5%.

Вес заготовки определяется исходя из рассчитанного объема заготовки и удельного веса металла.

Площадь поперечного сечения заготовки рассчитывается по заданной степени уковки.

При изготовлении поковки вытяжкой

$$\frac{F_{заг}}{F_{max}} = y; \quad (83)$$

при изготовлении поковки осадкой

$$\frac{F_{max}}{F_{заг}} = y, \quad (84)$$

где F_{max} — максимальное сечение поковки.

Для слитка степень уковки задается не менее $y = 2,5 \div 3,0$.

Длина заготовки определяется по формуле

$$L_{заг} = \frac{V_{заг}}{F_{заг}}. \quad (85)$$

Так как в сортаменте на слитки основной характеристикой является его вес, то исходя из вычисленного веса заготовки подбирают вес слитка. Слиток должен иметь поперечное сечение, обеспечивающее необходимую уковку заготовки. Если выбранный из сортамента слиток по весу соответствует расчетному, а по размеру сечения мал, то выбирают или слиток требуемого сечения $F_{заг}$, но большего веса, с тем чтобы из него изготовить несколько поковок, или слиток требуемого веса, но в технологический процесс изготовления поковки включают операцию осадки.

Расчет заготовки из проката. Расчет заготовки из проката включает в себя определение объема заготовки и ее размеров.

Основное уравнение для определения объема

$$V_{заг} = V_{пок} + V_{обс} + V_{уг}. \quad (86)$$

Отходы $V_{обс}$ и $V_{уг}$ принимаются такими же, как и при расчете из слитка. В среднем можно принимать $(V_{обс} + V_{уг})$ равными 10—12% от объема заготовки.

Степень уковки при ковке из проката принимается: $y = 1,1 \div 1,3$. Дальнейший ход расчета размеров заготовки из проката аналогичен расчету из слитка. На основании рассчитанного поперечного сечения заготовки по ГОСТу на сортамент выбирают соответствующий ближайший больший размер сечения.

Выбор кузнечных операций и инструмента

Необходимые кузнечные операции, их последовательность, а также инструмент зависят от конфигурации поковки и технических требований, которым она должна удовлетворять. В большинстве случаев изготовление поковок производится чередованием осадки и вытяжки с преобладанием той или иной операции в зависимости от соотношения размеров поковки.

Основным наиболее универсальным ковочным инструментом являются *плоские бойки*. *Вырезные бойки* обычно применяются при ковке на оправках или при вытяжке малопластичных металлов с целью обеспечения более благоприятной схемы напряженного состояния в зоне деформации, близкой к всестороннему неравномерному сжатию.

Выбранные операции, требующийся для их выполнения инструмент, а также промежуточные размеры заготовки заносятся в технологическую карту.

Выбор печи для нагрева

Так как свободной ковкой изготавливают поковки различных размеров с различным количеством их в партии, то, следовательно, количество нагреваемого в печах металла может меняться в больших пределах. Поэтому применяемые в цехах свободнойковки печи должны обладать универсальностью как в отношении габаритов нагреваемого металла, так и в отношении производительности.

Наибольшее распространение в кузнечных цехах получили *печи камерного типа*, которые применяются при ковке поковок различных конфигураций за один или несколько выносов. Для тяжелых и особо тяжелых поковок, в виде гладких и ступенчатых валов, при ковке за один или несколько выносов следует применять *печи с выдвижным подом*.

Для однотипных поковок, изготавливаемых из заготовок одного определенного размера (типа вагонных осей, гладких валов), при ковке за один вынос следует применять *полуметодические и методические печи*.

Установление режимов нагрева, охлаждения и промежуточной термообработки

Установление режима нагрева производится в соответствии с химическим составом металла и его температурным интервалом обработки давлением, теплофизическими свойствами металла, габаритами заготовки, применяемым способом нагрева и т. п.

Ответственным звеном технологического процесса изготовления поковок является не только нагрев металла, но и его охлаждение, поэтому в технологических картах должен указываться способ охлаждения поковок. Неравномерное, а также очень быстрое охлаждение поковок может привести к их короблению, повышению поверхностной твердости и даже к образованию трещин. При этом следует обращать особое внимание на охлаждение крупных поковок из легированных и высоколегированных сталей. Охлаждение мелких поковок обычно производится на воздухе, в штабелях, а крупных — в ямах с песком, в печах и ко-лодцах.

Дефекты, которые могут образоваться в стали при нагреве или ковке, например крупнозернистость (вследствие перегрева или окончанияковки выше нижнего предела температурного интервала), наклеп, внутренние напряжения, устраняются термообработкой отжигом или нормализацией.

Выбор кузнечного оборудования и его мощности

При составлении технологического процессаковки весьма важным и ответственным моментом является выбор оборудования (молота или прессы) и определение его мощности. На выбор оборудования в первую очередь оказывает влияние так называемый термомеханический режим обработки данного металла или сплава, связывающий скорость деформации с температурой его нагрева и скоростью рекристаллизации.

Известно, что такие металлы, как высоколегированные стали (особенно инструментальные), жаропрочные и некоторые цветные сплавы обладают низкими скоростями рекристаллизации и пониженной пластичностью, поэтому не допускают большой скорости деформации. При ковке таких металлов рекомендуется применять прессы, а не молоты. Особенно влияние скорости деформации сказывается при ковке вблизи температуры нижнего предела.

При выборе оборудования необходимо также учитывать тепловой эффект деформации [50], действие которого может повышать температуру металла, и в некоторых случаях переводить металл либо в зону хрупкости (например, в зону перегрева), либо, наоборот, в зону повышенной пластичности. Во избежание образования наклепа и трещин степень деформации во всех случаях при ковке вблизи нижнего температурного предела не должна превышать допустимую.

Кроме указанных факторов, на выбор оборудования большое влияние оказывает вес и форма изготавливаемой поковки. Поковки малого и среднего веса (до 2—3 т) обычно изготавливаются на молотах, а тяжелые, вплоть до поковок весом в 200—300 т, изготавливаются на гидравлических и парогидравлических прессах.

Расчет мощности оборудования во многих случаях представляет весьма сложный вопрос из-за трудности аналитического решения задач теории пластических деформаций, поэтому часто пользуются приближенными аналитическими формулами, эмпирическими и полуэмпирическими зависимостями.

Так как при свободной ковке основную работу по формоизменению металла выполняют при помощи операций осадки и вытяжки, то мощность оборудования определяют исходя из условий деформации при данных операциях.

Приближенный расчет мощности прессы при осадке и вытяжке. Усилие деформирования в общем случае определяется по формуле

$$P = pF, \quad (87)$$

где F — площадь контакта заготовки с инструментом в мм^2 (м^2);
 p — удельное давление течения металла при ковке в кг/мм^2 (Мн/м^2).

Удельное давление при осадке заготовок в виде правильной призмы или цилиндра может быть определено по приближенной аналитической формуле [50]

$$p = \sigma_{st} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{d}{h} - \frac{1}{3} \frac{h^2}{d^2} \right), \quad (88)$$

где σ_{st} — предел прочности металла при температуре деформации в кг/мм^2 (Мн/м^2);

d — диаметр или сторона сечения поковки после деформации;

h — высота поковки после деформации.

Эта формула выведена для значений $\frac{d}{h} \geq 2$ и пригодна для расчета при большом коэффициенте трения, возникающем при осадке ($f \geq 0,3$); она может быть использована и при значениях $\frac{d}{h} < 2$ в случае, если удельное давление, вычисленное по ней, больше принятой величины σ_{st} . В других случаях при $\frac{d}{h} \leq 2$ пользуются такой формулой [50]:

$$p = \sigma_{st} \left(1 + \frac{f}{4} \cdot \frac{d}{h} \right), \quad (89)$$

где f — коэффициент трения между металлом и бойками, ориентировочные значения которого колеблются в пределах от 0,3 до 0,5.

Удельное давление течения металла при вытяжке под плоскими бойками можно определить по формуле [50]

$$p = \sigma_{st} \left(1 + \frac{f}{3} \cdot \frac{l_0}{h} \right), \quad (90)$$

где l_0 — величина подачи, равная 0,6—0,7 ширины бойка.

Удельное давление течения при вытяжке под вырезными бойками определяется следующим образом [50]:

$$p = \sigma_{st} \left(1 + \frac{2f}{3} \cdot \frac{l_0}{d} \right), \quad (91)$$

где d — диаметр поковки.

Пример. Определить требуемое усилие пресса для осадки заготовки с исходными размерами $d_0 = 800$ мм, $h_0 = 1500$ мм на заготовку высотой $h = 500$ мм. Материал заготовки — сталь с $\sigma_s = 60$ кг/мм² (600 Мн/м²). Температура деформации 1200°. При этой температуре для данной стали принимаем: $\sigma_{\epsilon_1} = 2$ кг/мм² (20 Мн/м²), $f = 0,3$.

Диаметр после осадки (бочкообразностью пренебрегаем)

$$d = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}} = 800 \sqrt{\frac{1500}{500}} = 1400 \text{ мм.}$$

Так как заготовка, данная в примере, довольно крупная, необходимо учесть масштабный фактор ψ_0 . Величина масштабного фактора меньше единицы и чем больше вес слитка, тем она меньше. Е. Н. Мошнин и Н. М. Золотухин [50] для расчетов значений деформирующих усилий при осадке слитков рекомендуют принимать $\psi_0 = 0,8 \div 0,5$.

В данном случае для заготовки весом 7,5 т принимаем $\psi_0 = 0,75$. Удельное давление в конце операции осадки можно определить по формуле (88)¹

$$p = 0,75 \cdot 2 \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{1400}{500} - \frac{1}{3} \cdot \frac{500^2}{1400^2} \right) = 2,1 \text{ кг/мм}^2 \left(21 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2} \right).$$

Деформирующая сила будет

$$P = 10^{-3} p F = 10^{-3} \cdot p \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 1500^2}{4} = 3709 \text{ т (37,1 Мн)}.$$

Практически такие заготовки подвергаются осадке на прессе усилием 4000 т.

Приближенный расчет мощности молота при осадке и вытяжке. Расчет мощности молота заключается в определении веса его падающих частей.

Работа деформации может быть определена по формуле

$$A_d = p_{cp} V \ln \frac{h_0}{h}, \quad (92)$$

где V — объем осаживаемой заготовки;

p_{cp} — среднее значение удельного давления.

Для малых деформаций $\ln \frac{h_0}{h} = \epsilon$, а удельное давление p за период малой деформации можно считать постоянным и равным удельному давлению в начальный или конечный момент малой деформации

$$A_d = p V \epsilon. \quad (93)$$

Удельное давление при осадке можно определить приближенно при условии, что $0 < \frac{d}{h} < 3$

$$p = \sigma_{\epsilon_1} \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{d}{h} \right). \quad (94)$$

Удельное давление при вытяжке подсчитывается по формулам (90) и (91).

¹ Формула и в данном случае оказывается справедливой, так как $p > \sigma_{\epsilon_1}$.

Пр и м е р. Определить вес падающих частей парового ковочного молота для осадки заготовки с исходными размерами $d_0 = 200$ мм, $h_0 = 400$ мм до высоты $h = 130$ мм. Материал заготовки — сталь с $\sigma_s = 60$ кг/мм² (600 Мн/м²). Температура деформации 1200°. При этой температуре данная сталь имеет $\sigma_{s1} \approx 2$ кг/мм² (20 Мн/м²).

Диаметр после осадки

$$d = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}} = 200 \sqrt{\frac{400}{130}} = 350 \text{ мм.}$$

Объем заготовки

$$V = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{3,14 \cdot 200^2}{4} \cdot 400 = 12,6 \cdot 10^6 \text{ мм}^3.$$

Влияние скорости деформации должно быть учтено скоростным коэффициентом $\psi = 3$ [50].

Удельное давление для последнего удара определим по формуле (88)

$$p = 3 \cdot 2 \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{350}{130} - \frac{1}{3} \cdot \frac{130^2}{350^2} \right) = 8,4 \text{ кг/мм}^2 \left(84 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2} \right).$$

Степень деформации при последнем ударе $\epsilon = 0,05$.

Работа деформации при последнем ударе может быть определена по формуле (93)

$$A_d = 10^{-3} \cdot 12,6 \cdot 10^6 \cdot 8,4 \cdot 0,05 = 5292 \text{ кг} \cdot \text{м} \text{ (52,9 кдж)}.$$

Так как энергия удара молота используется на деформацию не полностью (часть ее непроизводительно расходуется на сотрясение фундамента и молота, на упругую деформацию поковки и т. п.), то следует учесть к. п. д. удара, который можно принять равным $\eta_y = 0,8$.

Таким образом, полезная энергия удара определится из уравнения

$$E_y = \frac{A_d}{\eta_y} = \frac{5292}{0,8} = 6615 \text{ кг} \cdot \text{м} \text{ (66,2 кдж)}.$$

Из выражения кинетической энергии определим вес падающих частей G

$$E_y = \frac{Gv^2}{2g},$$

откуда

$$G = \frac{E_y 2g}{v^2}, \quad (95)$$

где v — скорость падающих частей в момент удара, для молотов равная 6,0—8,0 м/сек;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек².

В данном случае, принимая скорость падающих частей $v = 7$ м/сек, получаем

$$G = \frac{6615 \cdot 2 \cdot 9,81}{49} = 2648 \text{ кг.}$$

Таким образом, для осадки заготовки диаметром $d_0 = 200$ мм, $h_0 = 400$ мм требуется молот с весом падающих частей 2,5 т и энергией удара 6615 кгм (66,2 кдж).

Определение состава кузнечной бригады

Определение состава кузнечной бригады зависит от рода оборудования и от его тоннажа, а норма выработки, кроме того, зависит от сложности поковок. Например, паровоздушный ковочный молот с весом падающих частей в 1 т обычно обслуживается бригадой в четыре человека: машинистом и кузнецом 4—5-го разряда, подручным кузнеца 3-го разряда и нагревальщиком 3—4-го разряда. Гидравлические и парогидравлические прессы обслуживаются бригадами, состоящими из пяти—восьми, а иногда и более человек.

§ 24. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВОБОДНОЙ КОВКИ

В соответствии с классификацией А. И. Зимина [17] машины для свободнойковки по кинематическим и динамическим признакам подразделяются на две группы. К первой относятся машины динамического действия (молоты), ко второй — машины статического действия (гидравлические прессы). Продолжительность деформации у машин первой группы исчисляется тысячными долями секунды, а у машин второй группы — секундами и даже десятками секунд. В свою очередь каждая из групп по роду привода подразделяется на соответствующие подгруппы.

Молоты

Основными видами молотов, применяющихся в настоящее время для свободнойковки, являются: 1) приводные — пневматические; 2) паровоздушные.

Пневматические молоты. На рис. 78 изображен общий вид пневматического молота в разрезе.

Литая стальная станина 1 имеет два цилиндра — компрессорный 2 и рабочий 7. При включении электродвигателя 15 получает вращение пара шестерен 13 и 14 (редуктор), а вместе с ними и кривошип 11. При этом компрессорный поршень 3, связанный с кривошипом 11, шатуном 12, получает возвратно-поступательное движение и попеременно сжимает воздух в верхней и нижней полости компрессорного цилиндра 2 до 2—3 атм. При открытии цилиндрических золотников 4 и 6 рабочий поршень 8, являющийся одновременно бабой молота, будет получать движение вверх и вниз. Деформация металла производится между верхним и нижним бойками 9; нижний боек закреплен на шаботе 10.

Управление молотом производится кузнецом с помощью рукоятки или педали, связанных с золотниками 4, 6 и рычага, соединенного с обратным клапаном, помещенным в камере 5. Рукоятка и педаль возвращаются в исходное положение с помощью пружины. При изменении положения рычага обратного клапана и рукоятки молот может совершать ряд циклов — холостой ход,

автоматические удары полной и неполной силы, прижим поковки и держание бабы навесу. Так, например, автоматические удары полной силы молот совершает при полном нажатии на рукоятку или педаль и при соответствующем положении рычага обратного клапана.

Пневматические молоты применяются дляковки сравнительно небольших поковок и изготавливаются с весом падающих частей

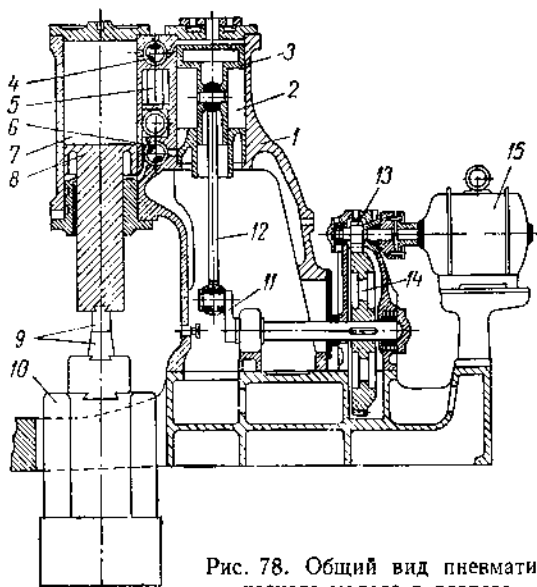


Рис. 78. Общий вид пневматического молота в разрезе

от 75 до 1000 кг и числом ударов от 210 до 95 в минуту [52]. Эксплуатационный к. п. д. пневматических молотов составляет около 7% [16].

Паровоздушные молоты. Паровоздушные молоты приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 7—9 атм (0,7—0,9 Мн/м²). В зависимости от конструкции стоек молоты разделяются на одностоечные, арочные и мостовые. Управление паровоздушными молотами осуществляется при помощи парораспределительного устройства, регулирующего впуск пара в рабочий цилиндр и выпуск его из цилиндра. По конструкции парораспределительного устройства различают молоты с ручным, автоматическим (см. гл. VII) и смешанным устройством.

На рис. 79 изображена схема арочного молота с ручным парораспределением.

На стальных литых стойках 1, скрепленных с железобетонным фундаментом 2, установлена головка молота 11, состоящая из рабочего цилиндра 13, золотниковой камеры 17 и дроссельной

камеры 19. В рабочем цилиндре 13 перемещается поршень 12, скрепленный посредством штока 10 с бабой 6, совершающей возвратно-поступательное движение в направляющих 9. Для начала работы молота в трубопровод 20 впускается свежий пар (или сжатый воздух). При подъеме машинистом рычага 23 дроссельный

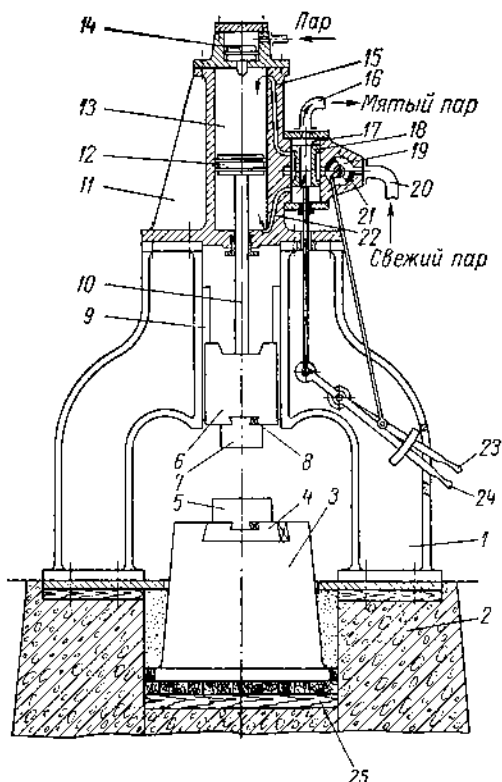


Рис. 79. Схема устройства паровоздушного молота арочного типа с ручным парораспределением

рукояток 23 и 24 соответствуют мгновенному впуску свежего пара в рабочий цилиндр 13, благодаря чему и совершается удар полной силы. При частично приоткрытом кране 21 (как изображено на рис. 79) можно совершать удары неполной силы, работая при этом только рукояткой 24. Подъем бабы 6 совершается подъемом рукоятки 24 вверх, что соответствует постановке золотника 18 в крайнее нижнее положение и впуску свежего пара в нижнюю полость рабочего цилиндра по каналу 22. При подъеме поршень 12 вытесняет отработанный (мятый) пар по каналу 15 в вых-

лопную трубу 16. При нажатии на рукоятку 24 золотник 18 перемещается в верхнее положение (как изображено на рис. 79), при этом по каналу 15 пар попадает в верхнюю полость рабочего цилиндра, заставляя поршень 12, а вместе с ним шток 10 и бабу 6 двигаться вниз. В это время отработанный пар из нижней полости рабочего цилиндра по каналу 22 и осевое отверстие золотника 18 уходит в выхлопную трубу 16. Посредством рукояток 23 и 24 можно совершать удары полной и неполной силы, удерживать бабу навесу и производить прижим поковки. Например, для удара полной силы в момент нахождения бабы 6 в верхнем положении машинист резко поднимает рукоятку 23 вверх, а рукоятку 24 опускает вниз. Эти движения

лопную трубу 16. Для предохранения верхней крышки рабочего цилиндра от удара поршня 12 служит буферное устройство 14.

Бойки молота 7 и 5 скрепляются соответственно с бабой 6 и подушкой 4 при помощи клиньев 8 и вкладных шпонок. Подушка 4 таким же способом скрепляется с шаботом 3, установленным на дубовых брусках 25.

Паровоздушные ковочные молоты изготавливаются в СССР по ГОСТу 4730—49 с весом падающих частей от 1 до 5 т (0,01—0,05 Мн). Вес падающих частей включает вес поршня со штоком, бабы и бойка. Наибольший вес поковок, которые могут коваться на пятитонном молоте, составляет 1200—1500 кг (0,012—0,05 Мн). Эксплуатационный к. п. д. паровоздушных молотов, работающих на паре, составляет 2%, а молотов, работающих на сжатом воздухе, — 3%.

Коэффициент полезного действия удара молота приближенно можно вывести из предположения, что при ковке происходит прямое центральное соударение свободных, абсолютно неупругих тел. Предположение в части соударения неупругих тел является в известной мере правильным, так как между бойками молота находится нагретое пластичное тело — заготовка. Что касается предположения о свободных телах, то оно является более приближенным, так как шабот молота неподвижен.

Обозначим через m массу падающих частей молота (бабы), M — массу шабота, v — скорость падающих частей, v_1 — общую скорость обоих тел после удара. Предположим, что произошел прямой центральный удар; оба тела будут двигаться с общей скоростью v_1 , имея общую массу $M + m$. По закону сохранения энергии количества движения до и после удара должны быть равны, следовательно,

$$mv = (M + m) v_1,$$

откуда определим v_1

$$v_1 = \frac{mv}{M + m}.$$

Энергия падающих частей в момент удара

$$E_y = \frac{mv^2}{2}. \quad (96)$$

Энергия системы шабот—баба после удара

$$E = \frac{(M + m) v_1^2}{2}.$$

Подставляя в это уравнение значение v_1 , получаем

$$E = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{m}{M + m}. \quad (97)$$

Энергия, затрачиваемая на деформацию металла, равна разности энергий до и после удара

$$E_d = E_y - E.$$

Подставляя в полученное уравнение значения E_y и E из уравнений (96) и (97), получаем

$$E_d = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{M}{M+m}.$$

Коэффициент полезного действия удара представляет собой отношение полезной энергии E_d к затраченной E_y

$$\eta_y = \frac{E_d}{E_y}. \quad (98)$$

После подстановки значений E_d и E_y в уравнение (98) имеем

$$\eta_y = \frac{M}{M+m}. \quad (99)$$

Из этого выражения видно, что с возрастанием массы шабота к. п. д. удара растет; при отношении $\frac{M}{m} = 1$ $\eta_y = 0,5$; при $\frac{M}{m} = 15$ $\eta_y = 0,94$ и при $\frac{M}{m} = 30$ $\eta_y = 0,98$. Как показывают приведенные значения к. п. д. удара, его резкое возрастание наблюдается при увеличении $\frac{M}{m}$ до 15; при дальнейшем возрастании $\frac{M}{m}$ к. п. д. удара растет медленно. Поэтому для ковочных молотов массу шабота принимают в 15 раз большей массы падающих частей. Для штамповочных молотов это соотношение берется равным 20—30, так как при штамповке требуются более жесткие удары.

Гидравлические прессы

Гидравлические прессы приводятся в действие с помощью жидкости (воды, масла) и относятся к механизмам, не имеющим жесткого хода. В период рабочего хода гидравлических прессов энергия подводится непрерывно и скорость их подвижных частей возрастает.

Гидравлический пресс представляет собой сложный агрегат, включающий: пресс, устройство, питающее пресс жидкостью высокого давления, — привод, устройства для наполнения всей установки жидкостью (баки, клапаны, трубопроводы) и устройства для управления прессом (распределители).

По роду привода гидравлические прессы подразделяются на прессы, работающие непосредственно от насоса, от насосно-аккумуляторного привода и прессы с мультипликаторным приводом.

Гидравлические прессы строятся с усилием от 500 т (5 Мн) до 15 000 т (150 Мн) и более. На прессах с развиваемым усилием

1000 т (10 Мн) могут коваться слитки весом около 8 т, а на прессах с усилием 10 000 т (100 Мн) — слитки весом около 250 т.

Из-за необходимости установки насосов большой мощности гидравлические прессы непосредственно с насосным приводом почти не применяются.

Гидравлический пресс с насосно-аккумуляторным приводом (с беспоршневым аккумулятором). Пресс состоит из стальной массивной плиты 1 (рис. 80), укрепленной в фундаменте, в которой имеется подвижный стол 2. Нижняя плита 1 связана четырьмя

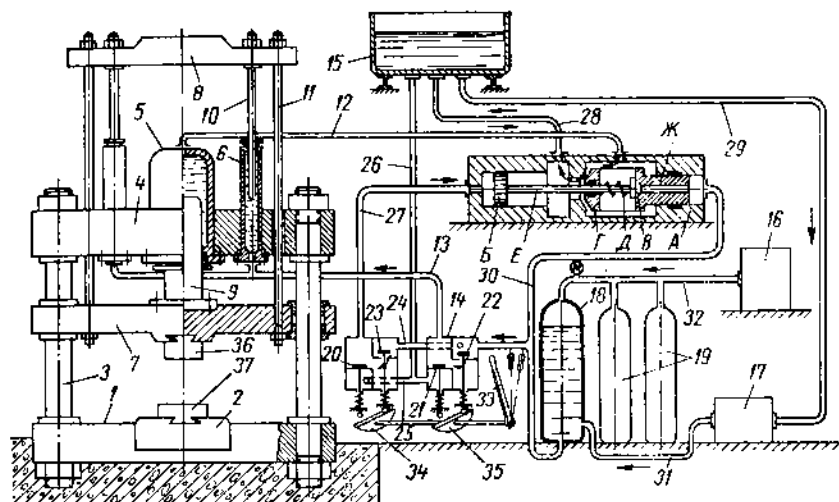


Рис. 80. Принципиальная схема устройства гидравлического пресса с насосно-аккумуляторным приводом

стальными колоннами 3 с верхней плитой 4, на которой укреплены рабочий цилиндр 1 5 и подъемные (ретурные) цилиндры 6. В рабочем и подъемных цилиндрах перемещаются плунжеры — рабочий 9 и подъемные 10, скрепленные с подвижными траверсами 7 и 8, которые связаны между собой тягами 11. На столе прессы 2 и в подвижной траверсе 7 укреплены бойки 36 и 37.

Работа прессы осуществляется посредством попеременного впуска воды высокого давления 200—300 ат (20—30 Мн/м²) в рабочий 5 и подъемные 6 цилиндры. Управление прессом производится с помощью клапанного распределителя 14 (дистрибутора). Открытие и закрытие клапанов дистрибутора 20—23 производит машинист, поворачивая рычаг 33 с насаженными на его валу кулачками 34, 35.

Для заполнения цилиндров прессы и всей системы трубопроводов служит бак 15, установленный на высоте 10—15 м над

¹ Количество рабочих цилиндров зависит от мощности прессы.

уровнем пола. Пресс может совершать холостой ход (опускание), рабочий ход (нажатие), подъем траверсы 7 и держание ее навесу. Обычно холостой ход осуществляется водой низкого давления, поступающей из бака 15, а вода высокого давления, для нажатия, впускается только в момент соприкосновения верхнего бойка 36 с поковкой. Для выполнения этой операции служит так называемый наполнительный клапан А.

Вода высокого давления, находящаяся в аккумуляторе 18, создается насосом 17; сжатый воздух в баллонах 19 поддерживает соответствующее давление воды в аккумуляторе. Вода высокого давления подается в аккумулятор от насоса 17 по трубопроводу 31, а пополнение сжатого воздуха в баллонах 19 производится по трубопроводу 32 от компрессора 16. Для опускания траверсы 7 открываются с помощью рукоятки 33 клапаны 23 и 21; вода высокого давления из распределителя 14 по трубопроводу 24 через открытый клапан 23 попадает в трубопровод 27 и перемещает поршень В наполнительного клапана А вправо. При этом клапан В, находящийся на конце штока Е, проходящего сквозь клапан Г, запирает отверстие в детали Ж, перемещая ее вместе с клапаном Г вправо.

Вода низкого давления из трубопровода 28 через сообщающиеся камеры наполнительного клапана А попадает в трубопровод 12 и далее в рабочий цилиндр 5. Плунжер 9 с траверсой 7 опускаются вниз до соприкосновения бойка 36 с поковкой.

Одновременно с этим вода из подъемных цилиндров 6 по трубопроводу 13 через открытый клапан 21 вытесняется в трубопроводы 25 и 26, попадая в бак 15. Для деформации поковки (при рабочем ходе) следует нажать на рычаг 33, поворот которого осуществляет закрытие клапанов 22 и 23 с одновременным открытием клапанов 20 и 21. При этом вода высокого давления, попадая по трубопроводу 30 в наполнительный клапан А, открывает клапан В, который, перемещаясь влево и сжимая пружину Д, закрывает клапан Г. В результате закрытия клапана Г вода высокого давления по трубопроводу 12 попадает в рабочий цилиндр 5, что и соответствует осуществлению нажима.

Подъем траверсы 7 соответствует открытию клапанов 22 и 23 с одновременным закрытием клапанов 20 и 21. Держание траверсы 7 навесу соответствует открытию клапана 23 с одновременным закрытием клапанов 20, 21 и 22.

Усилие прессы при рабочем ходе может быть вычислено следующим образом:

$$P = pF\eta, \quad (100)$$

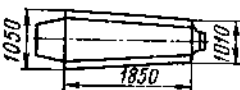
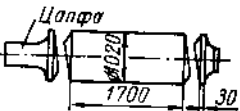
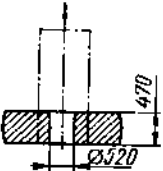
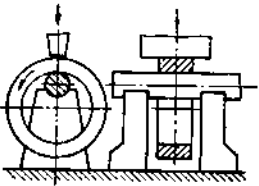

где P — усилие прессы в $\kappa\Gamma$ (κ);

p — давление воды высокого давления в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

F — площадь поперечного сечения рабочего плунжера в см^2 (м)²;

η — механический к. п. д., учитывающий потери на трение, равный 0,80—0,90.

**Технологический процессковки обечайки
на гидравлическом прессе усилием 5000 т (50 Мн)**

Операции, переходы	Эскиз операции	Инструмент
Нагрев слитка весом 63,4 т до заданной температуры		—
Ковка цапфы под патрон, билетировка слитка (скругление граней). Отрубка прибыльной и донной части		Бойки — верхний плоский, нижний вырезной; топоры
Подогрев. Осадка и прошивка		Плоские плиты и бойки; пустотелый прошивень, подкладное кольцо
Подогрев. Раскатка на оправке до внутреннего диаметра 1350 мм		Верхний боек плоский; цилиндрическая оправка
Подогрев. Вытяжка на оправке до наружного диаметра 2000 мм		Верхний боек плоский, нижний вырезной; оправка диаметром 1290 мм
Подогрев. Вытяжка на оправке до поковочных размеров	—	Верхний боек плоский, нижний вырезной; оправка диаметром 1240 мм

трубопроводу 9 через клапанное устройство 17 вытесняется в бак 19. При соприкосновении верхнего бойка пресса с поковкой осуществляется рабочий ход посредством включения мультипликатора. Для этого рычаг 16 переводится в положение III, пар впускается в паровой цилиндр 3 через клапанное устройство 7. Поршень 4 со штоком 6 перемещаются вниз. Образующаяся в гидравлическом цилиндре 10 вода высокого давления по трубопроводу 13 через открытый клапан 12 (при этом клапан 14 закрыт) и трубопровод 8 попадает в рабочий цилиндр 1. Для парогидравлических прессов небольшой мощности — до 1500 т (15 Мн) — применяется паровой подъем.

Общий к. п. д. гидравлических прессов с насосно-аккумуляторным приводом (приведенный к энергии топлива) составляет 6—8%, а парогидравлических прессов с гидравлическим подъемом составляет 1,5—2% [17]. В качестве примера свободнойковки на гидравлическом прессе усилием 5000 т (50 Мн) в табл. 2 приведен технологический процесс изготовления обечайки.

§ 25. МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СВОБОДНОЙ КОВКИ

Свободная ковка является трудоемким и малопродуктивным процессом, поэтому механизация ее операций является исключительно важной задачей, способствующей улучшению условий труда и повышению производительности. Наиболее трудоемкими операциями при свободной ковке являются посадка слитков (заготовок) в печь, выдача их из печи и транспортировка к деформирующим машинам, поворот (кантовка) заготовок во времяковки, контроль размеров поковок в процессековки, смена инструмента и т. п.

Многие из указанных операций не могут быть осуществлены вручную, поэтому применяются различные механизмы. Основные средства механизации при свободной ковке выбираются в зависимости от формы и размеров заготовки, от рода оборудования (пресс или молот), типа нагревательной печи, установленной у ковочного агрегата, и от характера производства (индивидуальное, серийное и т. п.).

Наиболее распространенным механизмом является мостовой кран с двумя тележками, с помощью которого производится подъем и транспортировка слитков (заготовок), поддержка их во времяковки, подача и смена различного инструмента (бойка, оправки, патрона).

Дляковки поковок на молотах применяются различного рода лебедки, посадочные машины (для загрузки заготовок в печь), однорельсовые пути с подвесными клещами, ковочные поворотные краны и т. п. При крупносерийном производстве поковок типа вагонных осей, гладких валов и т. п. к ковочным молотам рекомендуется устанавливать напольные рельсовые манипуляторы и электротележки с поворотным столом.

При смешанном производстве (крупно- и мелкосерийное) к паровоздушным ковочным молотам устанавливаются камерные нагревательные печи, ковочные рельсовые манипуляторы и ковочные поворотные краны. При мелкосерийном и единичном производстве поковок к ковочным молотам обычно устанавливаются поворотные краны.

При ковке на гидравлических прессах большое применение имеют подвесные электрические кантователи и манипуляторы.

Электрические кантователи представляют собой механизмы со свисающей замкнутой цепью, имеющие электрический привод

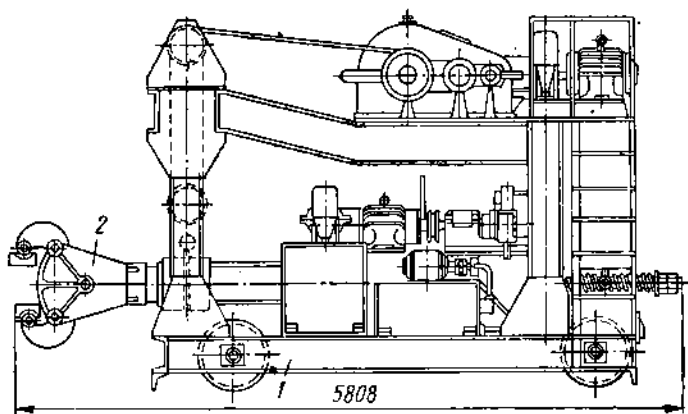


Рис. 82. Общий вид напольного рельсового манипулятора

с редуктором и подвешиваемые к крановому крюку. При неподвижной свисающей цепи происходит только поддержание конца слитка или патрона, а при ее вращении — кантовка слитка вокруг продольной оси. Управление кантователем производится крановщиком мостового крана.

Более универсальными механизмами являются напольные манипуляторы рельсового и безрельсового типов. Как те, так и другие применяются для загрузки заготовок в печь и выдачи из нее заготовок, для подачи заготовки к прессу или молоту, а также для держания и перемещения ее во времяковки. На рис. 82 изображен общий вид напольного рельсового манипулятора.

Манипулятор представляет собой тележку 1, перемещающуюся по железнодорожным рельсам, на которой установлены электрический и пневматический приводы, осуществляющие как передвижение самой тележки 1, так и соответствующую работу хобота 2. Хобот зажимает заготовку, совершает подъем ее вверх и производит кантовку вокруг продольной оси. Более универсальными манипуляторами являются такие, которые помимо указанных движений осуществляют еще и поворот хобота вокруг

вертикальной оси. Управление манипулятором производится машинистом.

Рельсовые манипуляторы строятся грузоподъемностью до 75 т. Современные прессы снабжаются двумя манипуляторами, установленными с обеих сторон прессы. Безрельсовые манипуляторы представляют собой тележки автомобильного типа и могут осуществлять зажатие заготовки, подъем и опускание хобота, поворот его на 360° (2 π рад) в обе стороны, а также перемещение хобота вверх и вниз. Безрельсовые манипуляторы очень компактны, более маневренны чем рельсовые, и строятся с грузоподъемностью от 500 кг до 10 т [52].

К числу средств механизации процессаковки относится оборудование гидравлических прессов передвижными столами, которые позволяют заранее установить рабочий инструмент (бойки) и по мере надобности вводить их в действие при передвижении стола. На рис. 83 изображена схема гидравлического прессы с подвижным столом.

Стол прессы 1 перемещается в станине 2 в направлении стрелок А и Б при помощи гидравлических цилиндров 3 с плунжерами 4. Для фиксации положения стола с инструментом имеется боковой гидравлический стопор. Иногда прессы снабжаются нижними гидравлическими выталкивателями, располагающимися в основании прессы по его центральной оси.

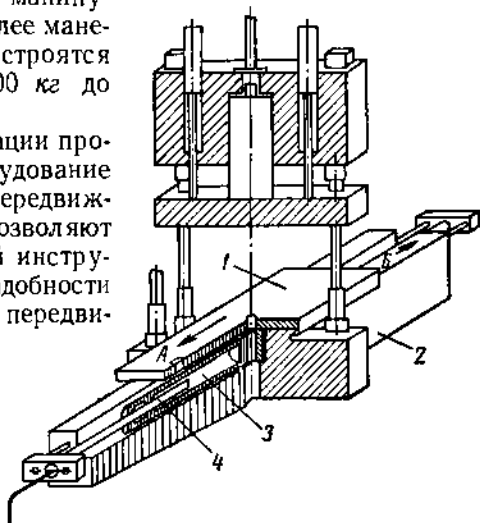


Рис. 83. Схема устройства подвижного стола гидравлического прессы

Как указывалось выше, измерение поковок в процессековки из-за высокой температуры металла и его большого объема представляет весьма трудоемкую операцию для кузнецов. Поэтому применение так называемых косвенных методов измерения, заключающихся в фиксации расстояния между бойками прессы, является весьма перспективным. В настоящее время в производство внедрен способ автоматического измерения высот и диаметров поковок с помощью радиоактивного датчика [66]. Показания датчика связываются с системой управления прессом, благодаря чему достигается автоматизация работы прессы по заданному режимуковки.

ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Горячая объемная штамповка¹ является одним из способов обработки давлением, при котором свободное течение металла ограничивается поверхностями полостей штампа. Металл заполняет полость (ручей) штампа, которая имеет форму изделия — поковки. Горячая объемная штамповка находит широкое применение в современном машиностроении, так как дает возможность изготовить поковку с высокими механическими свойствами и по конфигурации очень близкую к готовой детали; поэтому более 20 вес. % всех деталей машин изготавливается горячей штамповкой.

Горячая штамповка в ряде случаев может обеспечивать получение поковок, требующих механической обработки только в виде шлифовки, что позволяет получить поковку с точностью до 4 и даже 3-го класса [23].

Объем производства некоторых кузнечно-штамповочных цехов СССР достигает 100 000—150 000 и более тонн поковок в год [34]. Преимущества горячей штамповки выявляются при технико-экономическом сравнении различных видов обработки металла. Так, например, стоимость штампованных деталей с последующей обработкой резанием в 2—2,5 раза ниже стоимости тех же деталей, изготовленных только резанием.

Штамповкой можно изготавливать поковки весом до 400—500 кг, а в отдельных случаях до 2 т. Однако машиностроение выдвигает требования на изготовление поковок типа роторов турбин, колес электровозов, коленчатых валов и других деталей, имеющих значительно больший вес.

В связи с повышением усилий гидравлических штамповочных прессов до 50 000 т вес штампованных поковок может достигать 5 т. Так как штамповочный инструмент — штамп имеет значительную стоимость и является пригодным для изготовления поковки только данной конфигурации, штамповка становится рентабельной только в условиях массового и крупносерийного производства.

Применение метода групповой технологии, предложенного С. П. Митрофановым [31], может обеспечить рентабельность горячей штамповки даже в условиях мелкосерийного производства.

¹ В литературе горячую объемную штамповку часто называют горячей штамповкой.

Метод групповой технологии применительно к горячей штамповке заключается в разбивке близких по своей конфигурации поковок на группы и применении универсальных (сборных) штампов. Использование группового метода позволяет перевести большое количество поковок, изготавлиющихся свободной ковкой, на штамповку и тем самым снизить расход металла, повысить точность поковок и производительность.

Методы горячей штамповки

Основными методами горячей штамповки являются штамповка с облоем в открытых штампах (рис. 84, а) и штамповка без облоя в закрытых штампах (рис. 84, б, в).

На рис. 84 показаны схемы штамповки одной и той жековки — хвостовика. *Облойная штамповка* (рис. 84, а) характеризуется тем, что после заполнения металлом полости ручья 4 штампов 1 и 2 избыток его вытесняется в специальную полость 3,

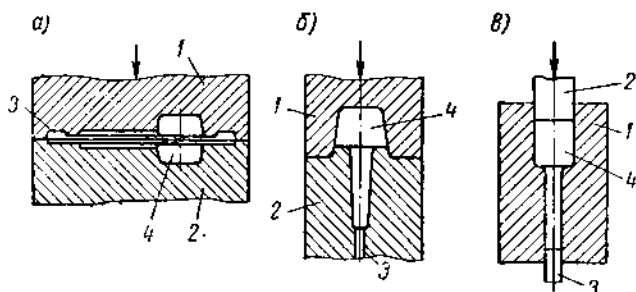


Рис. 84. Схемы штамповки поковки хвостовика

образуя при этом отход, называемый *облоем*. Облой сковки затем обрезается посредством особых штампов. Метод штамповки в открытых штампах позволяет использовать для разрезки прутков на мерные заготовки хотя и не точный, но зато высокопроизводительный способ резки на пресс-ножницах. Таким образом, штамповка в открытых штампах допускает применение заготовок, отличающихся между собой по объему. Штамповка в открытых штампах обычно производится на молотах, различных прессах и ковочных вальцах.

Безоблойная штамповка представляет собой деформацию металла в закрытых штампах (рис. 84, б, в), в которых образование облоя не предусматривается и поэтому полость для него отсутствует. Устройство этих штампов зависит от типа и конструкции машины. Так, например, для штамповки на молотах штампы выполняются по схеме, изображенной на рис. 84, б, из которой видно, что для образования закрытого ручья 4 верхняя половина штампа 1 имеет углубление, а нижняя 2 выступ.

Для штамповки на прессах закрытые штампы выполняются преимущественно по схеме, приведенной на рис. 84, в. В матрицу 1 входит пуансон 2, образуя закрытый ручей 4. Извлечение поковки из ручья 4 обычно производится с помощью выталкивателя 3.

По схеме, изображенной на рис. 84, в, также выполняются и штампы для горизонтально-ковочных машин с той лишь разницей, что у последних матрица 1 имеет дополнительный разъем по оси симметрии и отсутствует выталкиватель 3.

При безоблойной штамповке необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, в противном случае поковки будут получаться либо чрезмерно полными (толстыми) при избытке металла, либо с незаполненными углами при его недостатке. Следовательно, для резки заготовок должны применяться способы, обеспечивающие достаточно высокую точность, например способы резки дисковыми или ленточными пилами или электроискровой.

Штамповка в закрытых штампах чаще производится на прессах и горизонтально-ковочных машинах и по сравнению со штамповкой в открытых штампах обеспечивает меньший расход металла, более высокую точность и более благоприятную макроструктуру поковок.

Горячая штамповка производится на различных машинах, к числу которых относятся штамповочные молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины (ГКМ), гидравлические и фрикционные прессы, ковочные вальцы, ротационно-ковочные машины и др. Технологический процесс штамповки на той или иной машине отличается своей спецификой.

Способы получения фасонной заготовки

Непосредственно из исходного материала, т. е. из заготовки в виде пруткового проката круглого или квадратного сечения, можно штамповать поковки только самой простой конфигурации. В большинстве случаев, для того чтобы отштамповать из прутковой заготовки поковку более или менее сложной конфигурации без брака, сократить излишний расход металла и облегчить условия работы штампа (уменьшить его износ), необходимо исходную форму заготовки постепенно приближать к конфигурации поковки. Это постепенное приближение формы исходной заготовки к форме поковки производится посредством заготовительных операций, после которых окончательное формообразование производится в штамповочных ручьях.

Заготовительные операции могут быть осуществлены следующим образом:

1) свободной ковкой (в условиях соответствующего производства);

- 2) в заготовительных ручьях штампов;
- 3) прокаткой, т. е. применением проката периодического профиля;
- 4) вальцовкой на ковочных вальцах;
- 5) предварительной штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

Способ получения фасонной заготовки свободной ковкой отличается малой производительностью и поэтому применим только в условиях мелкосерийного производства крупных поковок.

Вторым способом фасонную заготовку получают в заготовительных ручьях штампов. Этот способ обычно выполняется на молотах и в зависимости от массовости и специфики производства осуществляется либо в одном многоручьевом штампе, установленном на молоте, либо в нескольких одноручьевых штампах, установленных на отдельных молотах.

В случае многоручьевой штамповки в одном штампе все необходимые полости для получения фасонной заготовки, называемые заготовительными ручьями, и полости для окончательного формообразования, называемые штамповочными ручьями, выполняются в одном блоке, образуя в целом многоручьевой штамп. Штамповка в таких штампах широко распространена в условиях крупносерийного и массового производства.

Исключительно большой интерес представляет штамповка с применением заготовки из периодического проката, так как при такой заготовке технологический процесс штамповки значительно сокращается за счет исключения заготовительных операций. В этом случае исходный прутковый материал (пруток с периодически повторяющимся профилем сечения) состоит из однотипных по конфигурации элементов, каждый из которых представляет подготовленную заготовку для штамповки. Такой метод штамповки дает значительный экономический эффект при изготовлении особо массовых деталей, какими, например, могут являться стандартные шатуны автомобильных и тракторных двигателей.

Во многих случаях фасонная заготовка может быть получена вальцовкой на ковочных вальцах, установленных непосредственно около штамповочного молота или пресса. Этот способ особенно экономичен при проведении вальцовки и штамповки с одного нагрева.

Подготовка заготовки на ГКМ, как и во всех предыдущих случаях, сводится к увеличению поперечного сечения заготовки на определенных участках ее длины. Наиболее характерными поковками для применения указанных способов получения фасонной заготовки являются поковки, имеющие по своей длине резкие перепады сечений (шатуны, рычаги с бобышками, ступенчатые валы и др.).

§ 26. ОБЩИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВОЙ И СТРУКТУРА ШТАМПОВОЧНОГО ЦЕХА

Общий технологический процесс изготовления поковки горячей штамповкой состоит из целого ряда операций. Основными из них являются: 1) резка прутков на мерные заготовки; 2) нагрев; 3) штамповка; 4) обрезка облоя и прошивка пленок; 5) правка; 6) термическая обработка; 7) очистка поковок от окалины; 8) калибровка; 9) приемка поковок ОТК завода.

В связи с необходимостью проведения этих операций в штамповочном цехе должен быть целый ряд соответствующих отделений: для бесперебойной работы цех прежде всего должен иметь достаточный запас металла, следовательно, для него необходим склад; рядом со складом металла должно находиться заготовительное отделение, в котором устанавливаются механизмы для резки прутков на мерные заготовки. Из заготовительного отделения заготовки транспортируются к нагревательным устройствам, установленным около молотов, прессов или других штамповочных машин. После штамповки поковка для обрезки облоя подается на пресс, установленный либо непосредственно около штамповочной машины (при горячей обрезке), либо в специальном обрезном отделении цеха (при холодной обрезке или прошивке). Так как при обрезке или прошивке пленок некоторые поковки (обычно поковки большой длины) могут изогнуться, для восстановления правильности их контура производится правка в правочных штампах. Иногда в штамповочном цехе имеется специальное правочное отделение.

После обрезки или правки поковки поступают в термическое отделение цеха, где производится соответствующая термическая обработка. В результате нагрева и последующей деформации на поковках образуется плотный слой окалины, который должен быть удален. Для этой цели в цехе имеется очистное отделение. Кроме того, в цехе должен быть участок с наждачными кругами для зачистки остатков облоя, задиров и других наружных дефектов на поковках. Некоторые поковки, поверхность которых не подлежит механической обработке резанием, подвергаются калибровке (чеканке) с целью получения более точных размеров, для чего также должен быть участок или отделение, оборудованное соответствующими механизмами.

Заканчивается процесс изготовления поковок сдачей их представителям Отдела технического контроля завода (ОТК), где производится контроль соответствия поковок чертежу и техническим условиям. ОТК должен иметь склад готовой продукции и помещения для изоляции бракованных поковок.

Все участки и отделения штамповочного цеха располагают так, чтобы продукция транспортировалась по цеху только в одном

направлений и не имела возвратных перемещений. Современный штамповочный цех имеет один или несколько пролетов, расположенных под общей крышей. В каждом пролете устанавливается соответствующее по мощности и типу оборудование, например пролет тяжелых молотов, пролет легких молотов, пролет прессов и т. п.

Для ухода за оборудованием, для его планового ремонта имеется участок механика цеха, оснащенный необходимым станочным парком. Для решения технологических, организационных и других вопросов в цехе имеются соответствующие службы.

§ 27. ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ, СПОСОБЫ ИХ РЕЗКИ

В подавляющем большинстве случаев для горячей штамповки применяется прокат разнообразного профиля сечения: квадратного, круглого, прямоугольного, иногда фасонного, а также периодического. Только крупные поковки штампуются из заготовок в виде слитков. На склад штамповочного цеха прокат поступает в прутках (штангах) длиной 4—6 м.

Штамповка иногда производится непосредственно от прутка с последующим отделением поковки на самой штамповочной машине. Однако большей частью требуются мерные заготовки (т. е. заготовки на одну или несколько поволоков) и поэтому прутки подлежат разрезке на соответствующие части.

Разнообразие применяемых для штамповки марок сталей, размеров сечений прутков, а также технологических особенностей штамповки приводит к необходимости использования различных способов резки. Основными из них являются:

- 1) резка на кривошипных пресс-ножницах;
- 2) ломка на хладноломах;
- 3) резка механическими пилами;
- 4) резка электромеханическими пилами;
- 5) газовая резка;
- 6) анодно-механическая резка.

Резка на прессножницах является наиболее распространенным способом, встречающимся почти в каждом штамповочном цехе. Пресс-ножницы современной конструкции позволяют разрезать в холодном состоянии прутки из стали с пределом прочности до 45 кг/мм^2 (450 Мн/мм^2) и диаметром до 300 мм. Схема резки на ножницах изображена на рис. 85, а.

Пруток 1 по рольгангу поступает на нижний нож 2 (ножи могут иметь различный профиль выреза: круглый, квадратный и фасонный — рис. 85, б) до упора 4 и прижимается к столу ножниц усилием P_0 . Верхний нож 3 опускается и под действием усилия P отрезает заготовку требуемой длины. Точность резки может колебаться в пределах от 2 до 5 мм. Производительность

ножниц весьма высокая и, например, при резке в холодном состоянии стальных прутков диаметром 80 мм составляет 500—600 шт/ч. Так как не все стали могут подвергаться холодной резке, то применяется предварительный подогрев.

В последнее время на некоторых заводах для резки используется индукционный подогрев прутков. Для этого перед нижним ножом устанавливается индуктор, выполненный из двух-трех

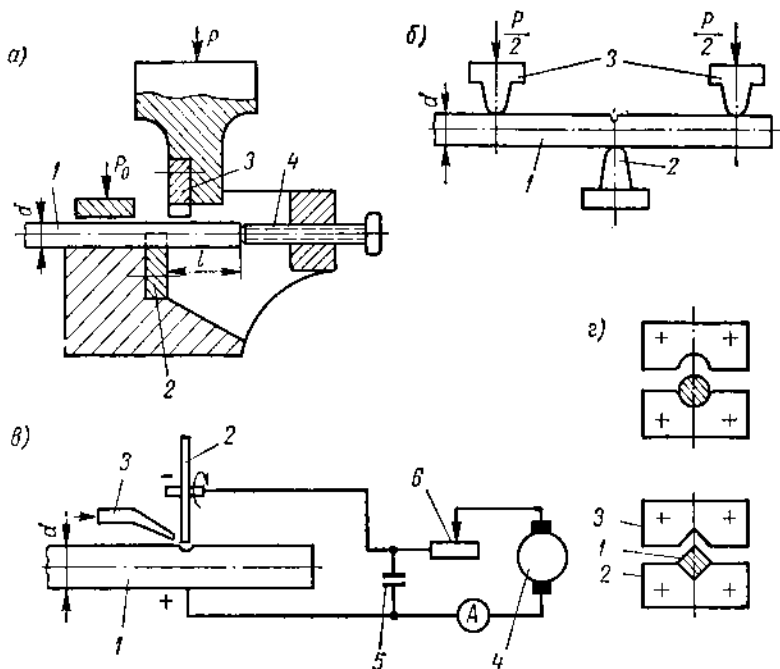


Рис. 85. Схемы способов резки заготовок

витков и питающийся через автотрансформатор током повышенной частоты. Среднеуглеродистые стали подвергаются подогреву при резке прутков более 130—150 мм в диаметре. Высокоуглеродистые и легированные стали во избежание образования трещин при резке в зависимости от химического состава подогреваются до 400—700°.

Недостатком резки на пресс-ножницах служит значительное искажение профиля среза, особенно при резке заготовок, длина которых меньше полутора диаметров. Резку прутков, подобную резке на ножницах, можно осуществлять в специальных штампах, установленных на кривошипные прессы.

Разделку прутков на заготовки часто производят на так называемых *хладноломах*, схема одного из которых изображена

на рис. 85, б. Надрезанный пруток 1 устанавливается на ломатель 2. Две опоры 3, перемещаясь вниз, ломают пруток в месте надреза. Ломке подвергаются прутки в диаметре от 70 до 300 мм. Для хорошего качества излома необходимо, чтобы длина мерной заготовки не была меньше 1,2 ее диаметра или стороны квадрата. В качестве машин обычно применяются кривошипные, эксцентриковые или гидравлические прессы. Точность, достигаемая на хладноломах, в зависимости от ширины надреза составляет от 3 до 5 мм.

Резка механическими пилами может производиться в холодном и горячем состоянии. Пилы применяются как в виде ножовок, так и в виде дисков или бесконечных лент; толщина их колеблется от 2 до 8 мм. Основным недостатком резки пилами является малая ее производительность и потери металла на стружку. Например, за 1 мин можно разрезать пруток в холодном состоянии диаметром около 30 мм. Большим преимуществом этого способа является его точность и перпендикулярность торца к оси заготовки, что особенно важно при точной штамповке. Точность резки в холодном состоянии достигает 0,5—2 мм.

Электромеханическая резка заключается в том, что режущий элемент в виде быстро вращающегося стального диска (около 2500 об/мин (83,5π рад/сек)) внедряется в заготовку за счет выделяющейся в месте контакта тепловой энергии. Так как вращающийся диск и заготовка включены в цепь вторичной обмотки трансформатора, то тепло одновременно выделяется как от возникающей дуги, так и от трения. Производительность электромеханической резки почти в 10 раз выше резки механическими пилами.

Газовая резка заключается в сжигании в струе кислорода неуспевшего расплавиться металла. Резка производится специальными резаками и применяется для заготовок крупных сечений. Недостатками данного способа резки являются: ограниченный ассортимент разрезаемых металлов, сравнительно малая производительность и большие отходы в месте реза (слой толщиной 4—6 мм).

Анодно-механическая резка основана на электроэрозионном эффекте (рис. 85, в). Заготовка 1 включена в цепь источника постоянного тока 4. В зазор между тонким быстро вращающимся стальным диском и заготовкой по трубке 3 подается водный раствор жидкого стекла. Благодаря наличию в схеме емкости 5, включенной в цепь между диском 2 и заготовкой 1, являющейся анодом, проскакивает искра, разрушающая анод. Путем постепенной поперечной подачи диска 2 происходит резка заготовки. Электрический режим резки регулируется сопротивлением 6.

Способ анодно-механической резки обеспечивает хороший гладкий срез, не требующий последующей механической обработки резанием, и дает точность до 0,2—0,5 мм. В последнее время

начинает применяться рубка крупных заготовок на машинах, работающих при помощи взрыва. В перспективе возможна резка заготовок на плазмотронах.

§ 28. ПРИНЦИП СОСТАВЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ПОКОВКИ

Чертеж поковки составляется по чертежу готовой детали с учетом припуска на механическую обработку и изменения всех ее размеров на величину усадки (для стали усадка 1,2—1,5%).

Для составления чертежа поковки прежде всего следует:

1) выбрать на поковке расположение будущей плоскости разреза штампов;

2) установить припуски на механическую обработку и допуски на штамповку;

3) установить штамповочные уклоны и радиусы закруглений и, если имеются в детали отверстия, установить наметки отверстий под прошивку и толщину оставляемых пленок;

4) решить специальные вопросы конструирования данной поковки (если они имеются), связанные с особыми техническими условиями на данную поковку, возможностями удобства механической обработки и т. п.

Выбор расположения плоскости разреза штампов

Для правильного выбора плоскости разреза штампов предъявляются следующие основные требования.

1. Плоскость разреза должна быть выбрана таким образом, чтобы штампуемая поковка свободно вынималась из штампа.

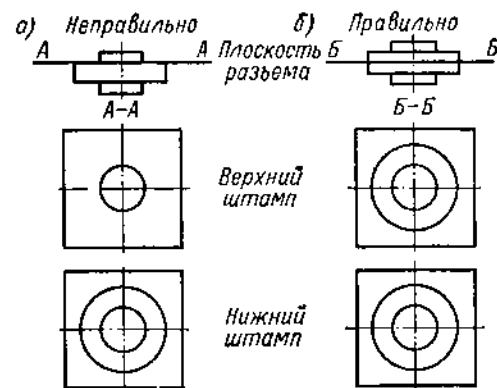


Рис. 86. Примеры выбора плоскости разреза штампов

2. Плоскость разреза должна выбираться с учетом возможности легкого контроля сдвигов одной части поковки относительно другой (рис. 86).

Для соблюдения этого правила необходимо, чтобы контуры верхнего и нижнего штампов в плоскости разреза были бы одинаковы, как это указано на рис. 86, б.

3. При штамповке несимметричных ребристых деталей плоскость разреза выбирается с учетом применяемого оборудования.

Если штамповка будет производиться на молоте, то полости для ребер должны находиться в верхнем штампе, если на прессе, то эти полости могут быть расположены как в верхнем, так и в ниж-

нем штампе. При штамповке на молоте металл течет легче вверх, чем вниз, поскольку нижний штамп, больше соприкасаясь с горячей поковкой, имеет худшее состояние поверхности, что затрудняет течение металла [34].

4. Плоскость разъема выбирается с таким расчетом, чтобы механическая обработка полостей штампа была более простой.

5. С целью облегчения заполнения металлом полости штампа желательно, чтобы разъема выбиралась такая плоскость, при которой полости штампов имели бы наименьшую глубину.

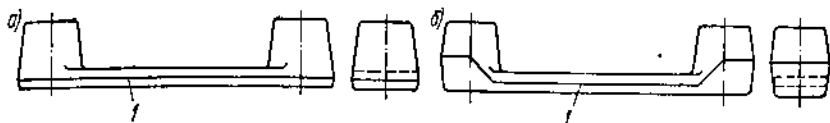


Рис. 87. Прямая и ломаная плоскости разъема штампов

Иногда от этого правила приходится отступать, если другая плоскость разъема упростит изготовление ковочного и обрезного штампов, сократит число заготовительных ручьев и расход металла на поковку.

6. Плоскость разъема может быть прямой и ломаной. Прямая плоскость разъема обеспечивает более простое изготовление штампа и лучшие условия обрезки облоя (рис. 87, а). Ломаная плоскость разъема *1* для той же поковки (рис. 87, б) позволяет при одинаковой величине штамповочных уклонов уменьшить расход металла и улучшить условия заполнения верхних углов бо-бышек. Однако при ломаной плоскости разъема *1* усложняются изготовление штампа и обрезка облоя.

Припуски и допуски

Припуски зависят от габаритов, веса и материала поковки, класса точности, а также от вида оборудования (молот или пресс) и выбираются по ГОСТу 7505—55.

Припуски в плоскости, перпендикулярной направлению удара, принимаются больше, чем по высоте, вследствие того что габаритные размеры поковок в плоскости разъема больше. Кроме того, при штамповке неизбежно имеются сдвиги штампов относительно друг друга, создающие перекося поковки, поэтому малый припуск в плоскости разъема не может обеспечить получения годной детали после механической обработки поковки резанием.

Допуски представляют собой допустимые отклонения от номинальных размеров поковки. Эти отклонения могут быть следствием недоштамповки поковки по высоте, неполного заполнения полости штампов, износа штампов и т. п. Весьма существенное влияние на допуск по высоте имеет недоштамповка, поэтому допуск по высоте берется несимметричным: верхнее отклонение принимается в два раза больше нижнего.

Размеры допусков колеблются приблизительно в следующих пределах: верхнее отклонение по высоте $\Delta_1 = (0,7 \div 1,0) P$, нижнее отклонение $\Delta_2 = (0,4 \div 0,6) P$, где P — припуск; верхнее отклонение по горизонтали $(0,6 \div 0,9) P$, нижнее отклонение $(0,5 \div 0,8) P$.

Во избежание получения брака сдвиг штампов не должен быть больше, чем разность между значением припуска на сторону P и величиной абсолютного значения нижнего отклонения.

Штамповочные уклоны и закругления

Для облегчения заполнения штампов и обеспечения свободного выема из них поковки боковые поверхности последней должны иметь штамповочный уклон. Штамповочные уклоны, являясь напусками, повышают отход металла в стружку и увеличивают габариты детали, идущей в сборку без механической обработки.

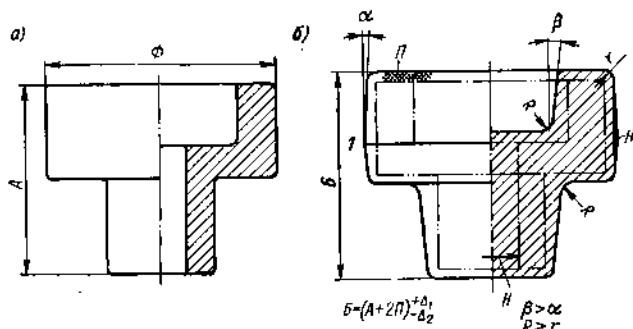


Рис. 88. Пример составления чертежа поковки: а — деталь; б — поковка;

I — плоскость разреза; Δ — отклонение от номинального размера; H — напуск

Штамповочные уклоны α для штамповки стальных поковок колеблются в пределах от 3 до 10° (от $\frac{\pi}{60}$ до $\frac{\pi}{18}$ рад) и зависят от высоты ребер или выступов, конфигурации боковой поверхности и характера течения металла в полостях штампа (выдавливание или осадка), а также от вида оборудования.

Для наружных поверхностей поковки (вследствие усадки) штамповочные уклоны α принимаются меньше, чем для внутренних β (рис. 88, б). Все переходы поверхностей должны закругляться, так как это способствует лучшему заполнению ручья штампа, а также предохраняет его от преждевременного износа и поломок. Радиусы закруглений зависят прямо пропорционально от глубины полости. На внутренних углах радиус закругления R принимается в 3—4 раза больше, чем радиус закругления наружных углов r (рис. 88, б).

Радиусы закругления наружных углов r обычно колеблются в пределах от 1,0 до 6,0 мм.

При штамповке поковок деталей, имеющих отверстия (шестерни, втулки, маховички, шатуны и т. п.), с целью уменьшения расхода металла и снижения трудоемкости механической обработки делаются наметки в виде конических несквозных отверстий с оставлением пленки, удаляемой последующей прошивкой (см. рис. 102, а). Так как выступы штампов, производящие наметки отверстий, работают в тяжелых условиях, то при диаметрах отверстий менее 30 мм наметки в поковках не делаются.

Специальные вопросы проектирования поковки

К специальным вопросам проектирования поковки можно отнести:

1) рациональное упрощение конструкции поковки с целью облегчения заполнения металлом ручьев и повышения стойкости штампа;

2) возможность одновременной штамповки нескольких деталей, т. е. конструирование поковки, содержащей несколько деталей;

3) разбивка сложной детали на несколько простых поковок с предусмотрением последующей сварки;

4) применение секционной штамповки крупных поковок типа валов, дисков и др.;

5) проектирование поковки с учетом возможности применения комбинированной штамповки, т. е. сочетания штамповки на ковочных вальцах со штамповкой на прессе или штамповки на ГKM со штамповкой на молоте и т. п.

Правильное решение этих вопросов упрощает технологический процесс и снижает себестоимость продукции.

§ 29. ШТАМПОВОЧНЫЕ МОЛОТЫ

Основными видами штамповочных молотов являются паровоздушные и фрикционные молоты с доской. Паровоздушные молоты относятся к молотам двойного действия, потому что процесс деформации производится как за счет работы падающих частей, так и за счет работы сжатого воздуха или пара [17]. Приводные фрикционные молоты относятся к молотам простого действия, так как деформация металла при штамповке на этих молотах производится только за счет работы свободного падения бабы.

Все штамповочные молоты имеют двухстоечную станину. Штамповочные молоты конструктивно отличаются от молотов для свободнойковки по следующим основным признакам:

1) стойки у штамповочных молотов обязательно устанавливаются на шаботе и соединяются с ним при помощи болтов с пружинами;

2) движение бабы у штамповочных молотов происходит в регулируемых направляющих;

3) все штамповочные молоты имеют управление от ножной педали.

Крепление стоек у штамповочных молотов на шаботе и наличие регулируемых направляющих для движения бабы обеспечивают необходимую точность совпадения фигур штампов. Отношение веса шабота к весу падающих частей у штамповочных молотов равно 20, а иногда доходит до 30.

Паровоздушный штамповочный молот

Схема устройства паровоздушного штамповочного молота изображена на рис. 89.

Шабот молота 2 представляет собой массивную стальную отливку (рис. 89), которая свободно устанавливается в неглубокий колодец фундамента на подушку из дубовых брусьев 1 и закрепляется такими же брусьями с боков. К шаботу 2 прикрепляются болтами 4 с пружинами стальные литые стойки 5, которые сверху смыкаются стальной плитой 25.

На плите при помощи болтов с амортизационными пружинами укрепляется цилиндр молота 23. Цилиндр представляет собой сложную стальную или чугунную отливку, в которой помимо рабочей камеры имеются еще две — золотниковая 13 и дроссельная 18. В верхней части цилиндра 23 имеется предохранительное буферное устройство 22, предупреждающее жесткие удары поршня о крышку цилиндра в случае неправильной регулировки системы парораспределения. Падающие части молота включают: стальной поршень 20, шток 24, изготовленный из хромоникелевой стали, и стальную кованую бабу 28 с верхним штампом 30. Поршень насаживается на шток с натягом в горячем состоянии. Шток 24 запрессовывается, вернее забивается ударом в коническое отверстие бабы 28. Управление молотом производится педалью 3, на которую штамповщик нажимает ногой (педаль связана с пружиной 29). Баба молота скользит по призматическим направляющим 26, укрепленным в стойках 5. Направляющие 26 имеют регулировку с целью изменения зазора между ними и бабой.

Молот может совершать различные циклы: качание бабы, единичные удары полной и неполной силы, а также прижим штампов. Цикл качания бабы (без ударов) происходит при ненажатой педали 3, если пущен пар или сжатый воздух в трубопровод 15. У штамповочных молотов при ненажатой педали дроссельный кран 16 только частично перекрывает впускные отверстия, и свежий пар имеет доступ из трубопровода 15 в золотниковую камеру 13 (как изображено на рис. 89). Золотник 19, находясь в крайнем верхнем положении, благодаря своей кольцевой выточке пропускает свежий пар по каналу 21 в верхнюю полость рабочего

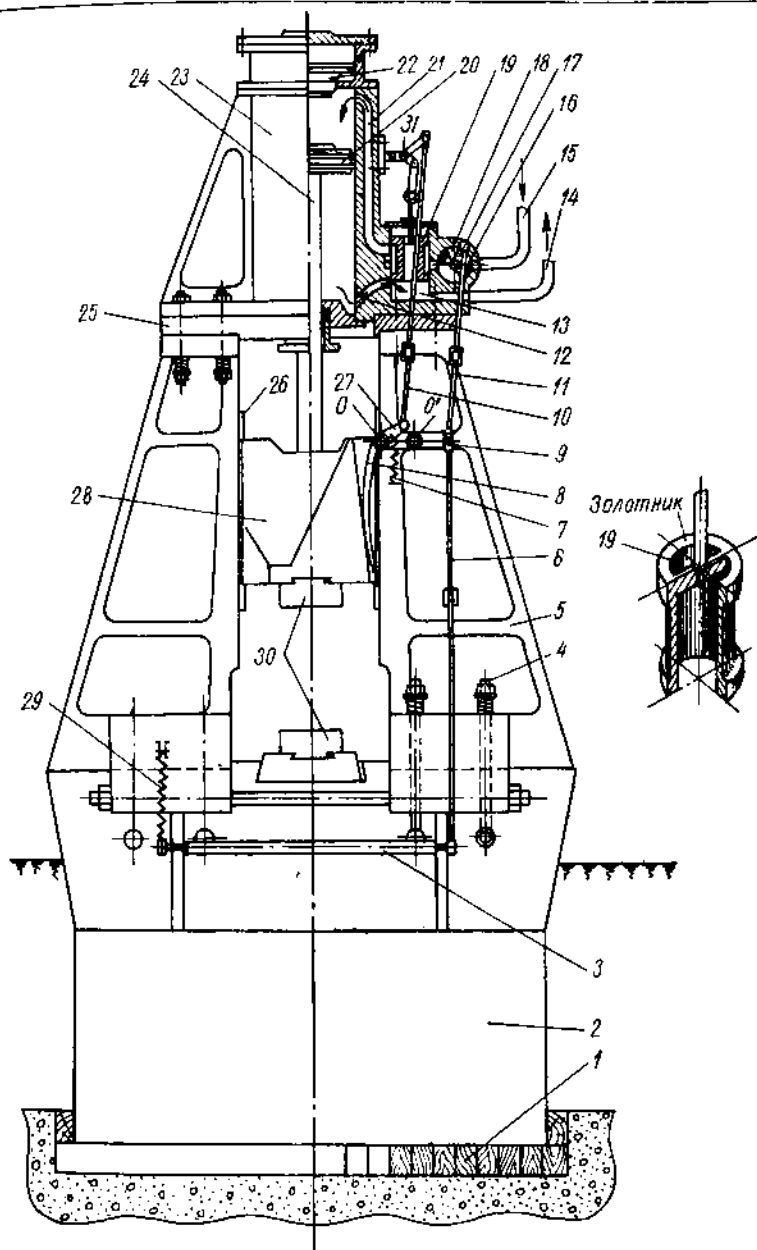


Рис. 89. Схема устройства паровоздушного штамповочного молота

цилиндра 23. Пар, оказывая давление на поршень 20, опускает его вместе со штоком 24 и бабой 28 вниз. Мятый пар вытесняется из нижней полости рабочего цилиндра по каналу 12 в золотниковую камеру 13 и далее в выпускную трубу 14.

На бабе 28 имеется скос в виде наклонной площадки, по которой скользит саблевидный рычаг 8. При ходе бабы вниз саблевидный рычаг под действием пружины 7 отклоняется влево относительно точки *O*; его плечо 27, поворачиваясь по часовой стрелке, тянет тягу 10 вниз. Вследствие перемещения этой тяги вниз поворачивается кривошип 31, и золотник 19 устанавливается в крайнее нижнее положение. При нижнем положении золотника 19 свежий пар по каналу 12 попадает в нижнюю полость рабочего цилиндра 23 и поднимает поршень 20, а следовательно, и бабу 28 вверх. Мятый (отработанный) пар уходит по каналу 21 через осевое отверстие золотника 19 в выпускную трубу 14.

При ходе бабы 28 вверх последняя своим скосом заставляет поворачиваться саблевидный рычаг 8 относительно точки *O* вправо, в результате чего тяга 10 поднимается, и золотник 19 устанавливается в крайнее верхнее положение — баба устремляется вниз. Таким образом, баба будет совершать непрерывное колебательное движение.

Для осуществления одного (единичного) удара полной силы необходимо в тот момент, когда баба находится в верхнем положении, резко нажать на педаль 3. При этом тяги 6 и 11, опускаясь, поворачивают посредством рычага 17 дроссельный кран 16, благодаря чему полностью открывается доступ свежему пару в золотниковую камеру 13. Одновременно поворачивается качающийся рычаг 9 относительно точки *O'*; точка *O* вместе с тягой 10 перемещается вверх, золотник 19 устанавливается в крайнее верхнее положение, которое соответствует впуску свежего пара в верхнее пространство рабочего цилиндра 23, а следовательно, — удару.

Механизм управления молотом позволяет производить удары различной силы, а в промежутках между ними — холостые качания бабы. Сила удара зависит от степени нажатия на педаль и от положения бабы в момент нажатия на педаль. При работе в заготовительных ручьях штампа штамповщик производит частые и слабые удары, а при работе в штамповочных ручьях — редкие и сильные. При медленно нажатой педали баба будет опущена вниз, что соответствует циклу прижима штампов.

В зависимости от веса падающих частей молот может совершать от 80 до 60 ударов в минуту. Трущиеся части молота (зеркало цилиндра, золотник, дроссель и направляющие) смазываются при помощи масляного насоса, автоматически подающего смазку во время работы молота.

Эксплуатационный коэффициент полезного действия молота, работающего на паре, составляет около 2%, при работе на сжатом воздухе — около 4—5%. Рабочее давление пара или сжатого воз-

духа, необходимое для работы молотов, $7-9 \text{ атм}$ ($70 \cdot 10^4 \div 90 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$), а давление выхлопа отработанного пара $0,2-0,5 \text{ атм}$ ($2 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$).

Паровоздушные штамповочные молоты применяются главным образом при многоручьевой штамповке и строятся в Советском Союзе с весом падающих частей до 16 т [52]. Основным недостатком этих молотов, помимо их невысокого к. п. д., является сильное сотрясение почвы, вследствие которого преждевременно разрушаются здания и затрудняется работа точных приборов. Наличие у молотов громоздких фундаментов вызывает необходимость проведения сложных строительных работ при их установке.

Бесшаботные молоты

Для уменьшения сотрясения почвы применяются так называемые бесшаботные молоты, схема одной из конструкций которых приведена на рис. 90.

Бесшаботный молот имеет две бабы 1 и 3, связанные между собой стальными лентами 2, переброшенными через ролики 4. При подаче пара в цилиндр 5 поршень 6, опускаясь, перемещает обе бабы навстречу друг другу. Мощность бесшаботных молотов характеризуется энергией производимого удара. Применяются они для штамповки крупных поковок и строятся в нашей стране с энергией удара от $10\,000$ до $100\,000 \text{ кгм}$ (от $0,1$ до $1,0 \text{ Мдж}$). Основным недостатком бесшаботных молотов является неудобство работы при движении обоих штампов. Поэтому они применяются только при одноручьевой штамповке.

В последнее время ведутся работы по исследованию высокоскоростных процессов горячей объемной штамповки. Уже созданы образцы горизонтальных молотов с движущимися навстречу друг другу штампами (типа импакторов), приводимых в движение силой давления сжигаемых в рабочих цилиндрах газов. Надо полагать, что при некоторых способах штамповки такие машины найдут широкое применение.

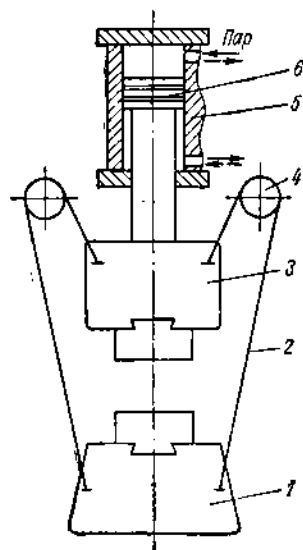


Рис. 90. Схема устройства бесшаботного молота

Фрикционный штамповочный молот с доской

На рис. 91 приведен общий вид (а) и кинематическая схема (б) фрикционного штамповочного молота с доской.

На плите 1, соединяющей сверху стойки молота 2, устанавливается головка молота 3 (рис. 91, а), которая включает

в себя два механизма — механизм подъема и тормозной механизм. Механизм подъема состоит из электродвигателя, редуктора, двух приводных роликов 8 и 9 с соответствующими системами рычагов (рис. 91, б) и служит для подъема доски 6 с бабой 4.

Основными частями тормозного механизма являются тормозные колодки 7 и 14, связанные с соответствующими рычагами и тягами управления. Тормозной механизм служит для удержания бабы 4 в верхнем положении в момент переноса поковки из одного ручья в другой.

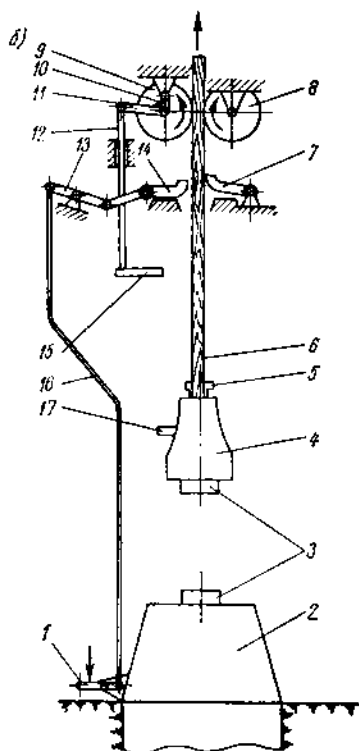
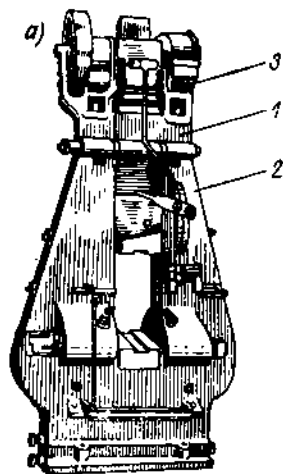


Рис. 91. Общий вид и кинематическая схема фрикционного молота с доской

Фрикционный молот работает следующим образом: от электродвигателя через редуктор приводятся во вращение стальные или чугунные ролики 8 и 9. Ролик 8 имеет неподвижную ось вращения, а ролик 9 подвешен на серьге 10, что позволяет оси ролика отклоняться и отводить его влево от доски 6.

Доска 6 закрепляется в бабе 4 посредством стальных клиньев 5. Серьга 10 и рычаг 11 соединены жестким креплением, т. е. представляют одно целое. Прижатие ролика 9 к доске 6 происходит за счет собственного веса рычага 11, тяги 12 и планки 15 (из-за большой разницы в длинах плеч 10 и 11). Подъем бабы 4 происходит силами трения, возникающими между доской 6 и роликами 8 и 9. Баба, перемещаясь в верхнее положение, ударяет укрепленным на ней деревянным штырем 17 в стальную планку 15

на тяге 12; при ударе тяга 12 поднимается и посредством рычага 11 отводит ролик от доски.

Так как доска 6 освобождается от зажима роликами, то баба 4 стремится упасть, но в этот момент колодки тормозного механизма 7 и 14 заклинивают доску 6, и баба 4 удерживается навесу в верхнем положении. Приводные ролики 8 и 9 продолжают вращаться, не задевая доски 6, так как баба посредством штыря 17 удерживает тягу 12 в приподнятом состоянии, а следовательно, и в отведенном состоянии приводной ролик 9.

Чтобы произвести удар, необходимо нажать на педаль 1, в результате чего тяга 16 поднимается, поворачивая рычаг 13, отводит влево тормозную колодку 14, доска 6 освобождается, и баба 4 падает. При непрерывно нажатой педали 1 баба молота 4 будет совершать автоматические удары.

Верхний и нижний штампы 3 закрепляются в шаботе 2 и бабе 4 так же как и на паровоздушных молотах.

У фрикционных молотов энергия удара регулируется путем изменения высоты падения бабы. При изменении положения планки 15 посредством регулировки длины тяги 12 изменяется и высота подъема бабы 4. При уменьшении энергии удара тяга 12 удлиняется, и планка опускается ниже, уменьшая конечную высоту подъема бабы, и наоборот.

Фрикционные молоты изготавливаются с весом падающих частей от 500 до 1500 кг. Производительность их по сравнению с паровоздушными молотами значительно ниже, так как возможное число ударов бабы в минуту у первых меньше. Основным недостатком фрикционных молотов является невозможность регулирования энергии удара в процессе самой штамповки, что особенно важно при обработке заготовки в заготовительных ручьях, где требуется меньшая сила удара. Однако в литературе [29] имеются данные о том, что зарубежные фирмы выпускают фрикционные молоты с регулированием силы удара.

§ 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА ПАДАЮЩИХ ЧАСТЕЙ МОЛОТА (МОЩНОСТИ МОЛОТА)

Для определения мощности молота требуется знать работу, затрачиваемую на процесс формоизменения данной детали, т. е. работу деформации. Как уже указывалось в гл. I, для определения работы деформации необходимо знать величину удельного давления. Оказывается, что точное теоретическое определение величины удельного давления при горячей штамповке представляет очень трудную, а в некоторых случаях, неразрешимую задачу: во-первых потому, что при штамповке поковки сложной конфигурации условия течения металла в различных ее участках различны, а следовательно, различны и сопротивления металла деформации; во-вторых потому, что сопротивление металла деформации в свою

очередь зависит от химического состава металла, скорости деформации, схемы напряженного состояния, масштабного фактора и температуры нагрева, а последняя во время формоизменения не остается постоянной, особенно при многоручевой штамповке.

Учитывая изложенные трудности при определении мощности молота, часто пользуются либо соответствующими номограммами, построенными на основании экспериментальных работ, либо эмпирическими формулами. Разработанные в последние годы специалистами [47, 50, 54] так называемые инженерные методы расчета технологических процессов обработки давлением дают возможность достаточно точно решать некоторые частные производственные задачи по определению потребных усилий деформации, выбирать рациональные формы заготовок, рациональную конструкцию машины и т. п.

Обычно инженер-технолог, решая задачи по определению необходимых усилий для пластического формоизменения металла, пользуется упрощенными эмпирическими формулами.

Приближенно вес падающих частей молота G (в кг) может быть определен по эмпирической формуле

$$G = aF, \quad (101)$$

где a — коэффициент, принимаемый для молотов простого действия, равным 12 кг/см^2 , а для молотов двойного действия — 8 кг/см^2 ;

F — площадь проекции поверхности поковки на горизонтальную плоскость, включая площадь мостика канавки для облоя, в см^2 .

Более точно вес падающих частей штамповочного молота двойного действия может быть определен по следующим формулам [52]:

для поковок круглой формы в плоскости разъема

$$G = 10(1 - 0,005D_n) \left(1,1 + \frac{2}{D_n}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001D_n^2) D_n \sigma_{\sigma_t}, \quad (102)$$

где D_n — диаметр круглой поковки в плоскости разъема в см;

σ_{σ_t} — предел прочности металла поковки при температуре окончания штамповки в кг/мм^2 ;

для поковок некруглой формы в плоскости разъема

$$G_1 = G \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_n}{B}}\right) \quad (103)$$

(G определяется по формуле (102) при $D_n = 1,12 \sqrt{F_n}$),

где F_n — площадь сечения поковки в плоскости разъема в см^2 ;

L_n — длина поковки в см;

$B = \frac{F_n}{L_n}$ — средняя ширина поковки в см.

Вес падающих частей молота простого действия может быть определен по формулам (102) и (103) и умножением результата на коэффициент 1,5—1,8.

§ 31. МОЛОТОВЫЕ ШТАМПЫ

Молотовый штамп представляет собой блок, состоящий из двух половинок в виде массивных кубиков (верхнего и нижнего), которые часто называют верхним и нижним штампами.

Штампы бывают подкладные и закрепленные. Обычно *подкладные штампы* применяются в мелкосерийном производстве в кузнечных цехах для свободнойковки (см. гл. VI).

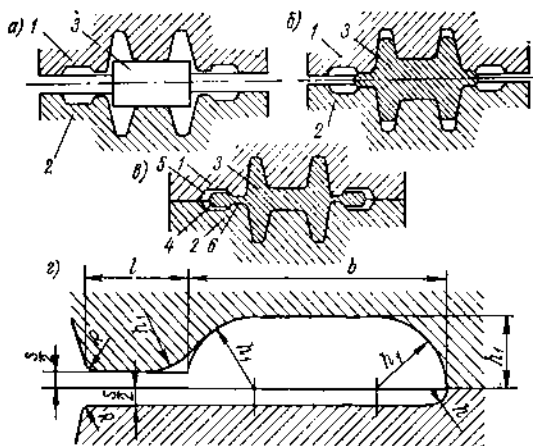


Рис. 92. Образование облоя и форма канавки

В штамповочных цехах штамповка производится только в *закрепленных штампах*. Молотовые штампы, как правило, являются открытыми, в них производится штамповка с облоем.

Основным условием заполнения полости штампов металлом является условие, при котором сопротивление течению металла в полость для облоя будет больше сопротивления течению в полости штампов. На рис. 92 изображено постепенное заполнение полости штампа с образованием облоя.

В первоначальный момент (рис. 92, а) заготовка 3 зажата между верхним 1 и нижним 2 штампами; в следующий момент (рис. 92, б) металл заготовки 3 начинает затекать в углубления полости и одновременно в зазор между штампами. Дальнейшее заполнение полости штампов возможно лишь при достаточном сопротивлении течению металла в облой, что достигается за счет уменьшения высоты и охлаждения металла на участке мостика б (рис. 92, в). При смыкании половинок штампа (рис. 92, в)

происходит заполнение его полости и выдавливание избытка металла в виде облоя 4 в магазин 5.

Для штамповки поковок простой конфигурации типа шестерен, маховичков, прямых рычагов, не имеющих резких изменений сечений по длине (высоте), молотовые штампы обычно имеют только один (чистовой) или в крайнем случае два штамповочных ручья (черновой и чистовой).

Молотовые штампы для штамповки поковок сложной конфигурации имеют две группы ручьев: заготовительные и штамповочные.

К заготовительным ручьям относятся: протяжной, подкатной, пережимной, формовочный и гибочный, площадка для осадки и отрубной нож; к штамповочным: черновой (предварительный) и чистовой (окончательный) ручей.

Назначение ручьев в молотовых штампах и принципы их проектирования

Штамповочные ручья. Для получения готовой поковки с обломом служит *чистовой ручей*; по конфигурации он точно соответствует поковке, находящейся в горячем состоянии. Таким образом, составление чертежа поковки одновременно представляет собой проектирование чистового ручья. Размеры чистового ручья больше размеров холодной поковки на величину линейной усадки. Вокруг чистового ручья выполняется канавка для облоя, форма и размеры которой зависят от сложности конфигурации поковки, ее размеров и формы заготовки (форма канавки обычно выбирается по соответствующим нормативам). Форма канавки для облоя, наиболее часто применяемая в штампах, изображена на рис. 92, г. Например, для поковок типа обычного шатуна автомобильного двигателя весом до 1,5 кг размеры канавки можно принять: $l = 7 \text{ мм}$, $b = 30 \text{ мм}$, $\frac{s}{2} = 1 \text{ мм}$, $h_1 = 4,7 \text{ мм}$, $R = 1,5 \text{ мм}$.

Назначение *чернового ручья* заключается в том, чтобы облегчить работу чистового ручья, увеличить его стойкость и уменьшить расход металла на облой. В черновом ручье выполняется большая часть работы, затрачиваемой на формоизменение; в нем достигается форма поковки, весьма близкая к окончательной. Применяется черновой ручей при штамповке поковок сложной конфигурации, имеющих тонкие ребра, остrostки, большие выступы и т. п.; отличается он от чистового следующими признаками:

1) глубина полости чернового ручья несколько больше, а ширина (если возможно) меньше, чем у чистового, или равна ему. Это необходимо для того, чтобы после чернового ручья поковка могла свободно поместиться в чистовом ручье, где происходит некоторая деформация ее по высоте;

2) штамповочные уклоны в черновом ручье по сравнению с чистовым могут быть большими, меньшими или равными в зависимости от условий затекания металла в полость;

- 3) радиусы закругления у чернового ручья увеличены;
- 4) канавка для облоя у чернового ручья отсутствует.

Заготовительные ручьи. Для уменьшения поперечного сечения отдельных участков исходной заготовки при одновременном увеличении их длины предназначен *протяжной ручей* (рис. 93); он применяется тогда, когда выбранная длина заготовки короче длины поковки.

Протяжной ручей выполняется в форме бойков *1*. Осуществляя протяжку, заготовку после каждого удара (как при свободной ковке) перемещают вдоль ее оси и одновременно поворачивают

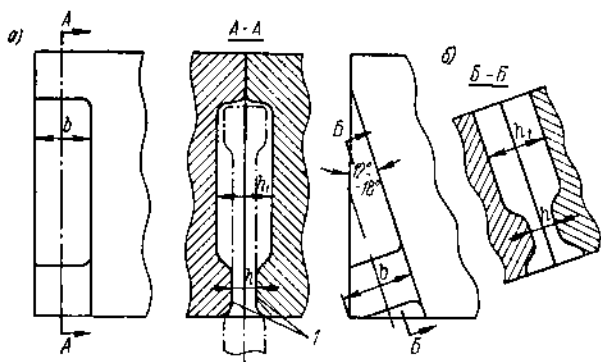


Рис. 93. Протяжной ручей

на 90° . Протяжной ручей располагается сбоку штампа: либо параллельно его кромке (рис. 93, а), либо под углом к ней (рис. 93, б) в зависимости от наличия свободного места на рабочей плоскости штампа.

Для проведения нормальной операции протяжки необходимо, чтобы заготовка свободно помещалась в полости ручья, т. е. чтобы

$$h_1 = 2h. \quad (104)$$

Расстояние h приблизительно должно быть равно толщине заготовки после протяжки. Ширина ручья b принимается на 5—10% больше диаметра или стороны квадрата исходной заготовки.

Подкатной ручей (рис. 94) является наиболее важным из всех заготовительных ручьев. Основным назначением его является увеличение поперечного сечения одних участков исходной заготовки за счет уменьшения сечения других. При помощи подкатного ручья объем металла заготовки распределяется в соответствии с конфигурацией поковки. Исходная заготовка поступает в подкатной ручей либо непосредственно, либо после протяжного ручья. Из подкатного ручья заготовка передается в черновой или чистовой ручей. Следовательно, контур подкатного ручья в продольном сечении должен вписываться в контур штамповочных ручьев.

При деформации заготовки в подкатном ручье производится несколько ударов (пять-шесть, максимум восемь—десять), причем после каждого удара заготовка поворачивается (кантуется) примерно на 90° (вокруг продольной оси) с целью скругления ее поперечных сечений.

Подкатные ручки применяются двух типов — открытые (рис. 94, а) и закрытые (рис. 94, б); большее распространение получил закрытый тип ручки. Подкатной ручей может располагаться как справа, так и слева от штамповочных ручьев. Профиль

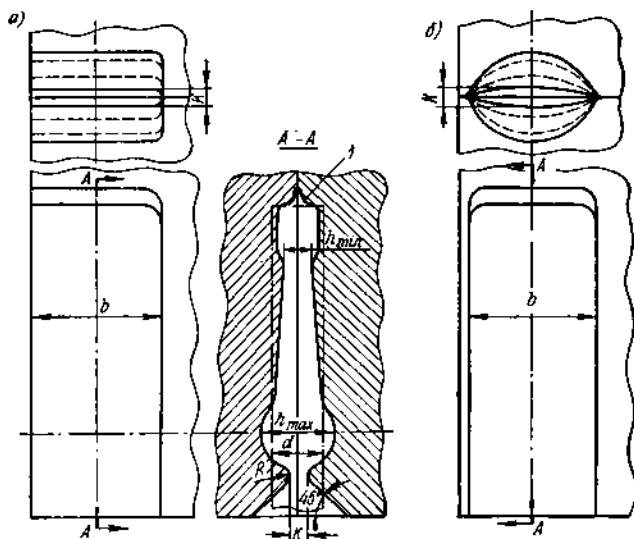


Рис. 94. Подкатной ручей

подкатного ручья строится исходя из эпюры поперечных сечений по длине поковки или из эпюры диаметров (см. рис. 99, б), представляющей собой диаграмму, каждая высота которой является диаметром круга с площадью, равной сумме площадей сечений поковки и облоя. Площадь облоя определяется на основании принятой формы канавки при условии заполнения ее металлом на 70%. Таким образом, площадь сечения эпюры в произвольном месте поковки

$$F_s = F_n + 1,4F_{об.л.}$$

Для концевых сечений поковки площадь эпюры определяется по формуле

$$F_s = 2F_{об.л.}$$

Высота эпюры, или ее диаметр, в произвольном сечении будет

$$d_3 = 1,13 \sqrt{F_3},$$

где d_3 и F_3 — высота и площадь сечения эпюры в произвольном месте;

F_n и $F_{обл}$ — соответственно площади поперечного сечения поковки и канавки для облоя.

Глубина полостей подкатного ручья h может быть определена по эпюре сечений следующим образом:

для сечений, у которых $d_3 < d$ (d — диаметр заготовки),

$$h = (0,7 \div 0,8) d_3;$$

для сечений, у которых $d_3 > d$,

$$h = d_3.$$

Если головка набираемого металла обращена к клещевому концу, то глубина полости может быть

$$h = 1,05 d_3.$$

При применении заготовки квадратного сечения со стороной a производится приведение его к круглому по формуле

$$d = 1,13a.$$

Длина отдельных участков подкатного ручья определяется из чертежа поковки с учетом усадки; ширина рассчитывается по формуле

$$b = \frac{F_{заг}}{h_{min}} \div 10 \text{ мм},$$

где $F_{заг}$ — площадь поперечного сечения исходной заготовки;
 h_{min} — минимальная глубина полости ручья.

Размеры пережима у клещевой части ручья K и радиусы R определяются по следующим зависимостям:

$$K = (0,2 \div 0,3) d \text{ мм}; \quad (105)$$

$$R = 0,1d + 6 \text{ мм}. \quad (106)$$

Для того чтобы противоположный от клещей конец заготовки не закатывался в складки, подкатной ручей имеет так называемую канавку I (рис. 94), глубина которой зависит от размера поперечного сечения исходной заготовки. Например, для заготовок диаметром около 30 мм глубина канавки равна 8 мм, а длина в 1,5—2 раза больше глубины.

Пережимной ручей применяется для осуществления местного уширения исходной заготовки в плоскости, перпендикулярной деформирующей силе, и придания ей соответствующей формы без перемещения металла в осевом направлении. Наличие пережимного ручья облегчает заполнение полости последующего

ручья. Профиль пережимного ручья строится в соответствии с размерами поперечных сечений поковки и сечением облоя. Горизонтальные участки ручья заменяются уклонами в 3—5°. Длина ручья примерно соответствует длине поковки.

Формовочный ручей сходен с пережимным и применяется для придания заготовке формы поковки, которую она имеет в плоскости разреза штампов, и частичного набора металла. Заготовку из формовочного ручья всегда помещают в черновой или в чистой ручей с поворотом ее вокруг оси на 90°.

Гибочный ручей (рис. 95) применяется только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось, лежащую в плоскости разреза,

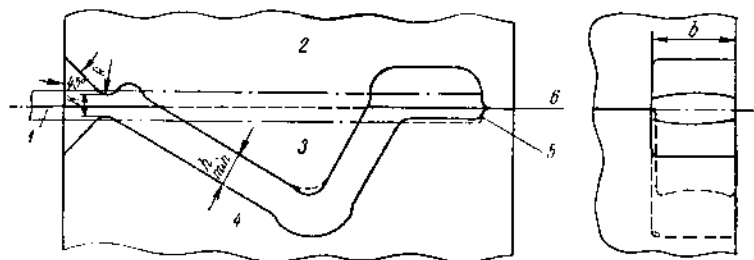


Рис. 95. Гибочный ручей:

1 — исходная заготовка; 2 — верхний штамп; 3 — выступ; 4 — нижний штамп; 5 — упор; 6 — плоскость разреза

и в зависимости от наличия других ручьев и очередности гибочной операции располагается с левой или с правой стороны штампа.

Исходная заготовка может поступать сразу в гибочный ручей или же после деформации в других заготовительных ручьях (протяжном, подкатном, пережимном). Конфигурация заготовки, полученная после гибки в гибочном ручье, должна вписываться в контур чернового или чистового ручья с зазором в 3—5 мм.

В гибочном ручье закругления должны быть плавными, так как наличие острых углов может повести к браку в виде складки, образующейся вследствие встречного течения металла изгибаемых частей. Нижние и верхние части гибочного ручья располагаются таким образом, чтобы заготовка укладывалась на ручей с упором.

Выступающая часть гибочного ручья выполняется только в верхнем штампе, как изображено на рис. 95. Ширина ручья b

$$b = \frac{F_{\text{заг}}}{h_{\text{мин}}} + (10 \div 20) \text{ мм.}$$

Размеры пережима у клещевины K и R вычисляются по формулам (105) и (106).

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяется осадка исходной заготовки

до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для проведения этой операции на плоскости штампа должна предусматриваться *площадка* соответствующих размеров. Во избежание чрезмерного увеличения габаритов штампа для осадочной площадки частично используют участок зоны облойной канавки, для чего ее кромки в данном месте выполняются с плавным переходом на плоскость.

В тех случаях, когда при штамповке в виде заготовки используется довольно длинный прутки (на несколько поковок), штампы

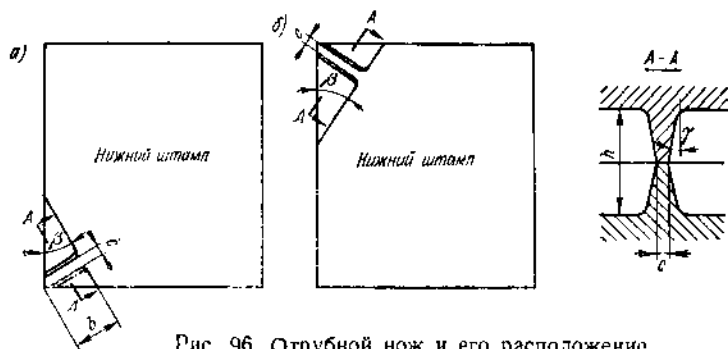


Рис. 96. Отрубной нож и его расположение

имеют отрезной ручей, или так называемый *отрубной нож*, служащий для отрубки от прутка готовой поковки (рис. 96). Отрубной нож располагается в левом переднем (рис. 96, а) или в левом заднем углу штампа (рис. 96, б). Угол скоса ручья по отношению к боковой кромке штампа $\beta = 20 \div 30^\circ \left(\frac{\pi}{9} \div \frac{\pi}{6} \text{ рад} \right)$. Толщина лезвия ножа s составляет 3—5 мм, а его углы наклона $\gamma = 15 \div 20^\circ \left(\frac{\pi}{12} \div \frac{\pi}{9} \text{ рад} \right)$. Размеры b и h принимаются в зависимости от размеров отрубаемой поковки с облоем.

Расположение ручьев в штампах

Заготовительные ручки располагаются по бокам зеркала штампов, так как при штамповке они не испытывают сильных ударов. Ручьи располагают подряд в технологическом порядке, учитывая сторону расположения устройства для нагрева заготовок. Первый заготовительный ручей должен находиться в штампе со стороны нагревательного устройства (печи, индуктора и т. п.).

Для деформации заготовки в штамповочных ручьях требуются более сильные удары, чем в заготовительных, поэтому штамповочные ручки должны располагаться ближе к центральной оси штампа. Если штамп имеет только чистовой ручей, то центр чистового ручья должен совпадать с центром штампа. Если штамп имеет оба штамповочных ручья (чистовой и черновой), то ось

первого располагается на расстоянии $1/3$ по одну сторону, а ось второго — на расстоянии $2/3$ по другую сторону от центральной оси штампа (в зависимости от конфигурации поковки). Более глубокие полости ручьев обычно располагаются ближе к клещевой выемке.

Крепление штампов на молотах

Неподвижность штампов при работе обеспечивается посредством шпонок и клиньев. Верхний штамп укрепляется в бабе, а нижний — в штамподержателе, называемом подушкой. Принцип крепления штампов изображен на рис. 97.

Штамп 2 устанавливается хвостовиком 4 в паз 5 бабы или подушки 1. Продольное смещение штампа ограничивается вкладной шпонкой 6, вставляющейся в вырез 7 хвостовика 4 штампа и в вырез подушки 1. Поперечное смещение штампов ограничивается забиваемым вдоль хвостовика клином 3, для чего одна из сторон гнезда подушки 1 (так же как и хвостовика 4) имеет скос под углом к продольной оси $35'$ ($\sim \frac{\pi}{360}$ рад). Для исключения вертикального перемещения штампов каждый из них имеет хвостовик — «ласточкин хвост».

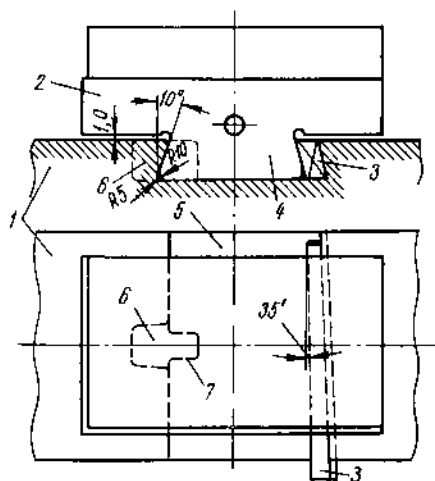


Рис. 97. Принцип крепления штампов на молотах

Материал штампов и понятие о технологическом процессе изготовления штампов

Штампы для горячей штамповки работают в тяжелых условиях, так как подвергаются воздействию резко изменяющихся температур и ударам. Износ штампов сопровождается появлением трещин разгара, изменением размеров рабочих кромок вследствие потери твердости и истирания при перемещении разогретого металла в процессе штамповки. Поэтому штамповая сталь должна обладать следующими свойствами: высокой прочностью, твердостью и ударной вязкостью; высокой разгаростойкостью; хорошей прокаливаемостью, высокой износостойкостью; высокой сопротивляемостью отпуску.

Для обеспечения перечисленных свойств штампы для горячей штамповки изготавливаются из легированных сталей. Основными сталями для молотовых штампов в случае изготовления их с глубокими полостями сложной конфигурации являются стали марок

5ХНМ и 5ХГМ, однако применение их ограничивается дороговизной и дефицитностью молибдена, присутствующего в этих сталях, поэтому в большинстве случаев применяются стали 5ХНВ, 3ХВ8, 5ХНТ, 4ХВС, 7ХЗ, 5ХГС, У7 и др.

Технологический процесс изготовления молотовых штампов осуществляется примерно по следующей схеме:

- 1) проковка части слитка в трех направлениях на стандартный размер кубика;
- 2) термообработка — нормализация или отжиг (для снижения твердости);
- 3) строгание хвостовиков и плоскостей (рабочей и контрольных);
- 4) термообработка — закалка и отпуск на окончательные механические свойства;
- 5) изготовление ручьев и фрезеровка клещевых выемок.

Предварительное изготовление ручьев в штампе производится фрезерованием на копировальных станках. В последнее время начинает успешно применяться электроискровая обработка. Окончательная обработка ручьев (штамповочных) и канавки для облоя производится с помощью шлифовки и полировки, которые осуществляются вручную с последующим контролем штамповочных ручьев по свинцовым или восковым отливкам. Профиль заготовительных ручьев контролируется при помощи шаблонов. Вся механическая обработка штамповых кубиков резанием производится после окончательной термообработки, что дает возможность при износе штампа перестрогать его и вновь изготавливать фигуры ручьев. Вследствие такого сложного и трудоемкого технологического процесса изготовления штампы стоят довольно дорого. Например, изображенный на рис. 100 штамп для штамповки поковки шатуна весом около 1 кг стоит примерно 600—700 руб. В некоторых случаях в целях снижения стоимости штампов ручьи можно выполнять в виде вставок из штамповой стали, а сам кубик — из стали 40 или 40Х. Стоимость штампа также может быть снижена, если применить штамповку ручьев, что сократит механическую обработку резанием.

Стойкость молотовых штампов

Стойкость молотовых штампов в значительной мере зависит от конфигурации и размеров отдельных элементов окончательного ручья, от штампуемой стали, от качества смазки, а также от веса падающих частей штамповочного молота. Например в штампе, приведенном на рис. 100 для шатуна (весом около 1 кг), установленном на молоте с весом падающих частей 1 т, можно отштамповать 6—12 тыс. поковок.

Стойкость штампов резко снижается с увеличением веса поковки и усложнением ее конфигурации (наличие глубоких и тонких

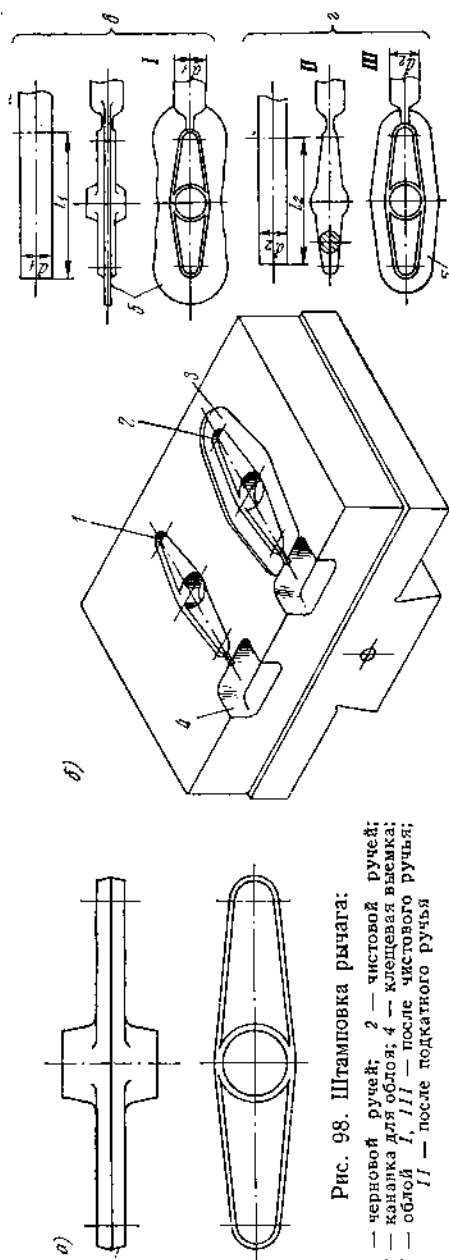


Рис. 98. Штамповка рычага:

1 — черновой ручей; 2 — чистовой ручей;
3 — канавка для обдува; 4 — клещевая выемка;
5 — облой I, III — после чистового ручья;
II — после подкатного ручья

ребер). К основным мерам по повышению стойкости штампов можно отнести следующие:

1) изготовление ручьев штампов не резанием, а штамповкой, что сохраняет направление волокон и повышает сопротивление износу на 20—30%;

2) тщательный контроль температуры нагрева штампов и температуры конца штамповки поковки;

3) создание наиболее рациональной конструкции штампа за счет более совершенной конструкции заготовительных ручьев;

4) тщательный контроль за принудительным охлаждением и смазкой штампов (введение охлаждения раствором поваренной соли, обдува воздухом и т.п.);

5) применение более стойких штамповых сталей;

6) применение безокислительного нагрева с целью снижения окалинообразования.

§ 32. ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ НА МОЛОТАХ

Штамповка поковки рычага

Изображенная на рис. 98, а поковка рычага вследствие значительной разницы в поперечных сечениях по ее длине может быть отнесена к числу поковок сравнительно сложной конфигурации. Однако поковки такого типа часто

штампуют в штампах с одним чистовым ручьем или, в лучшем случае, в штампах с черновым и чистовым ручьями. На рис. 98, б изображен общий вид нижнего штампа с черновым и чистовым ручьями; на рис. 98, в — исходная заготовка и готовая поковка с облоем после штамповки в таком штампе, а на рис. 98, г — исходная заготовка, заготовка после обработки в подкатном ручье и отштампованная поковка с облоем.

Из приведенных на рис. 98, в и г примеров можно заключить, что при штамповке одной и той же поковки с подготовкой заготовки в подкатном ручье требуется заготовка несколько меньшей длины ($l_2 < l_1$) и диаметра ($d_2 < d_1$). В результате применения подкатного ручья металл заготовки распределяется по ее длине равномерно в соответствии с конфигурацией поковки, а это в свою очередь обеспечивает более равномерную величину облоя (рис. 98, г), снижает износ штампа и уменьшает расход металла.

Штамповка поковок типа шатуна

В качестве примера многоручьевого штамповки может служить технологический процесс изготовления шатуна двигателя внутреннего сгорания. На рис. 99, а изображен чертеж упрощенной поковки шатуна. Наиболее рациональным штампом для данной поковки будет штамп, имеющий в качестве заготовительных ручьев либо протяжной и подкатной, либо, в крайнем случае, один подкатной и два штамповочных — черновой и чистовой.

Если поковка имеет относительно небольшие габаритные размеры, например длину не более 150—180 мм, то имеет смысл штамповать ее не из мерных заготовок, а от прутка, с тем чтобы исключить расход металла на клещевину (часть длины заготовки, необходимая для держания поковки клещами). При штамповке из прутка с последующим отделением поковки от заготовки применяется отрубной нож, который можно расположить в левом заднем углу площадок штампов.

Штамп для штамповки поковки шатуна от прутка изображен на рис. 100. Исходная заготовка в виде прутка круглого или квадратного сечения после нагрева поступает в закрытый подкатной ручей 1 для набора материала головок поковки шатуна; далее

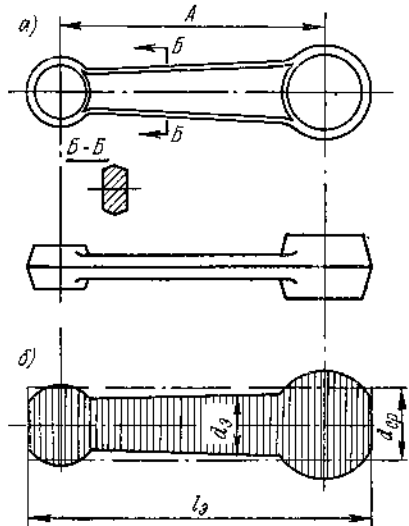


Рис. 99. Чертеж поковки шатуна (а) и эпюра ее диаметров (б)

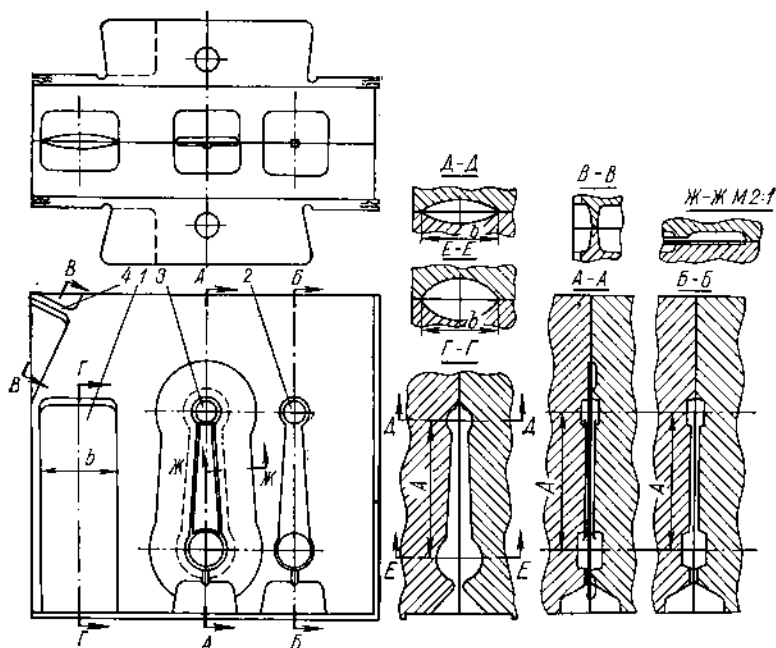


Рис. 100. Многооручевой штамп для штамповки поковки шатуна от прутка

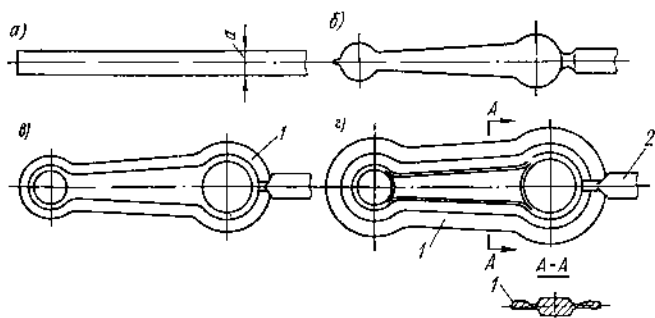


Рис. 101. Технологические переходы при штамповке поковки шатуна в многооручевом штампе: а — исходная заготовка; б — после подкатного ручья; в — после чернового ручья; г — после чистового ручья;

1 — облой; 2 — клещевина

ее перекалывают в черновой ручей 2 и затем в чистовой 3. После штамповки в чистовом ручье поковку отрубает от прутка с помощью отрубного ножа 4. Так как при штамповке от прутка с одного нагрева обычно штампуют несколько поковок, то после отрубки оставшийся нагретый конец прутка вновь поступает в подкатной ручей и так далее, пока из всей нагретой части прутка не будут отштампованы поковки. Оставшаяся холодная часть прутка вновь поступает в нагревательное устройство, а затем опять на последующую штамповку. На рис. 101 изображены технологические переходы штамповки поковки шатуна.

§ 33. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА И РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШТАМПОВКЕ НА МОЛОТАХ

Определение веса и размеров заготовки при штамповке на молотах производится на основании закона постоянства объемов металла до и после штамповки

$$V_{заг} = V_{пок} + V_{обл} + V_{уг} + V_{кл}, \quad (107)$$

или, что то же самое,

$$G_{заг} = G_{пок} + G_{обл} + G_{уг} + G_{кл}, \quad (108)$$

где $G_{заг}$ — вес исходной заготовки;

$G_{пок}$ — вес поковки;

$G_{обл}$ — вес отхода металла на облой;

$G_{уг}$ — вес отхода металла на угар при нагреве;

$G_{кл}$ — вес отхода на клещевину.

Вес поковки обычно подсчитывается исходя из ее объема, определяемого по чертежу готовой поковки.

Вес отхода металла на облой ориентировочно может быть определен

$$G_{обл} = (0,5 \div 0,8) \gamma F_{обл} L, \quad (109)$$

где γ — удельный вес штампуемого металла;

$F_{обл}$ — площадь поперечного сечения капавки для облоя;

L — периметр поковки по линии разреза.

Чем сложнее конфигурация штампуемой поковки, тем большим берется числовой коэффициент в формуле (109). $F_{обл}$ зависит от веса поковки: при $G_{пок}$ до 5 кг $F_{обл} = 1,1 \text{ см}^2$, при $G_{пок} = (5 \div 12) \text{ кг}$ $F_{обл} = 3,2 \text{ см}^2$ и при $G_{пок} = (40 \div 100) \text{ кг}$ $F_{обл} = 11,2 \text{ см}^2$. Вес отхода металла на угар $G_{уг}$ обычно принимается равным 2—3% от веса поковки с облоем.

Размеры заготовки и ее поперечное сечение определяются в зависимости от технологии штамповки следующим образом.

1. При штамповке поковок осадкой заготовки в торец длину и поперечное сечение заготовки подсчитывают из вычисленного

объема, считая, что $V_{\kappa\lambda} = 0$; при этом соблюдается соотношение

$$1,25 < \frac{l}{d} < 2,5, \quad (110)$$

где l — длина заготовки;

d — диаметр заготовки (или сторона квадрата).

При соотношении $\frac{l}{d} \leq 1,25$ резка заготовок на ножницах слишком затруднена. При соотношении $\frac{l}{d} > 2,5$ заготовка при осадке в торец будет иметь продольный изгиб, что повлечет за собой брак.

2. При штамповке фигурных поковок с поперечными сечениями по длине поковки, не слишком отличающимися между собой, подсчет поперечного сечения заготовки производится так:

$$F_{заг} = \frac{(1,05 \div 1,3) V_{заг}}{L_{пок}}, \quad (111)$$

где $F_{заг}$ — поперечное сечение исходной заготовки;

$V_{заг}$ — объем исходной заготовки;

$L_{пок}$ — длина поковки (по чертежу).

3. При штамповке фигурных поковок, поперечные сечения которых по длине отличаются слишком резко (как, например, рычаг на рис. 98, а; шатун на рис. 99, а), исходную заготовку подвергают или местной протяжке в протяжном ручье с последующей обработкой в подкатном ручье, или обработке только в подкатном ручье и т. п.

Для расчета исходной заготовки в данных случаях следует пользоваться эпюрой диаметров (рис. 99, б), так как она представляет собой продольное сечение идеальной заготовки.

В случае применения одного протяжного ручья площадь поперечного сечения исходной заготовки может быть определена

$$F_{заг} = F_{з \max}, \quad (112)$$

или, что то же самое, для диаметра заготовки

$$d = d_{з \max},$$

где $d_{з \max}$ — максимальный диаметр эпюры.

В случае применения одного подкатного ручья площадь поперечного сечения исходной заготовки определяется

$$F_{заг} = (1,05 \div 1,2) F_{ср}, \quad (113)$$

где $F_{ср} = \frac{V_z}{l_z}$ — среднее сечение эпюры;

V_z и l_z — соответственно объем и длина эпюры.

Во всех случаях расчетный диаметр заготовки округляется до ближайшего большего, имеющегося в сортаменте. Более подробно

с расчетами заготовок можно ознакомиться в литературе [6]; [39]. Так как при обработке заготовки в различных заготовительных ручьях ее требуется удерживать клещами, то к рассчитанной длине (в случае штамповки поковки из заготовки на одну поковку) необходимо прибавлять 15—30 мм. Эта прибавка длины заготовки является отходом и называется отход в клещевину ($G_{кл}$). Для того чтобы избавиться от лишнего отхода металла заготовки в клещевину, рекомендуется брать заготовку длиной на две поковки, тогда штамповка производится «с поворотом», при котором штамповщик имеет возможность удерживать заготовку клещами за выступающий из ручья конец или за отштампованную поковку.

В случае многоручьевого штамповки фигурных поковок небольшого веса рекомендуется с целью экономии расхода металла производить штамповку от прутка с последующей отрубкой отштампованной поковки на имеющемся в данном штампе отрубном ноже. Длину прутка обычно выбирают кратной длине поковки. Способ штамповки от прутка позволяет штамповщику держать прутки непосредственно в руках. Необходимость в клещах появляется только при штамповке последних поковок, когда прутки становятся короткими.

§ 34. ШТАМПОВКА НА КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССАХ

На кривошипных горячештамповочных прессах можно производить почти все виды штамповочных работ, включая многоручьевую штамповку (исключая заготовительные работы в протяжных и подкатных ручьях), и изготавливать поковки различной конфигурации с весом до 100 кг.

В последние годы в крупносерийном и массовом производстве все большее предпочтение отдается штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах, как наиболее прогрессивному способу получения поковок. Поэтому современные штамповочные цехи автомобильных заводов, например Минского завода запасных частей и Московского завода малолитражных автомобилей, оснащены главным образом кривошипными горячештамповочными прессами. Применение этих прессов по сравнению с молотами дает такие важные преимущества, как отсутствие сотрясений почвы, меньшие фундаменты, более высокий эксплуатационный к. п. д. пресса (6—8%), более высокую производительность, большую точность поковок (до 0,2—0,5 мм), меньшие штамповочные уклоны — около $2-3^{\circ}$ ($\frac{2\pi}{180} \div \frac{3\pi}{180} \text{ рад}$), возможность использования штамповщиков более низкой квалификации и наконец большие возможности механизации и автоматизации штамповочных работ.

Условия деформации металла на прессах отличаются от условий деформации на молоте, во-первых вследствие большой

разницы в скоростях деформирующего инструмента (у молота 5—8 м/сек, у пресса 0,5—0,6 м/сек) и во-вторых вследствие наличия у прессов строго фиксированной величины хода ползуна.

Малая скорость деформирования обеспечивает более глубокое проникновение пластической деформации в металл, благодаря

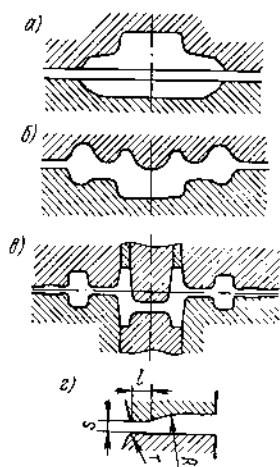


Рис. 102. Формы последовательных ручьев штампа для поковки шестерни: а — подготовительный ручей; б — черновой ручей; в — чистовой ручей; г — форма наиболее распространенной канавки для облой

чему течение его в горизонтальном направлении легче, чем в вертикальном. Это явление необходимо учитывать, чтобы предотвратить преждевременное вытекание металла в облой. Штамповка на кривошипных прессах с жестким ходом в данном ручье штампа возможна только с определенной степенью деформации, в то время как при штамповке на молотах степень деформации может быть различной в зависимости от силы удара бабы.

Указанные особенности должны быть учтены при разработке технологического процесса штамповки и конструировании штампов.

Основными рекомендациями при разработке технологического процесса штамповки на прессах могут являться следующие.

1. Вследствие больших трудностей выполнения на прессе таких заготовительных операций, как протяжка и подкатка, эти операции рекомендуется производить либо на ковочных вальцах, либо на специальных ковочных машинах, устанавливаемых рядом с прессом.

2. При штамповке поковок сложной конфигурации желательно увеличение количества ручьев для постепенного приближения формы заготовки к форме поковки (рис. 102).

3. Заготовка не должна быть покрыта окалиной, которая может быть заштампована в поковку. Поэтому необходимо применение либо специальных мер по очистке окалины, либо применение безокислительного нагрева (электронагрев или скоростной газовый нагрев и т. п.).

4. Штамповочные уклоны в штампах могут быть уменьшены до $2-3^\circ \left(\frac{2\pi}{180} \div \frac{3\pi}{180} \text{ рад} \right)$ за счет наличия у пресса выталкивателей.

5. Плоскость разреза следует выбирать вблизи торца штампуемой поковки, в зоне затрудненной деформации, благодаря чему сопротивление течению металла в облой возрастает, и заполнение полости штампа облегчается.

6. Заготовка для штамповки должна иметь ровные торцы и минимальные отклонения от номинального веса.

7. Штампы не должны смыкаться на величину, равную толщине облоя (толщине мостика), поэтому полость для него делается открытой (см. рис. 102, *г* и 106, *а*). Толщину мостика канавки *s* в штампах для прессов делают несколько большей, а длину *l* меньшей, чем в молотовых штампах. Наиболее распространенная форма облойной канавки изображена на рис. 102, *г*. Принцип расчета исходной заготовки для штамповки на прессах аналогичен расчету заготовки для штамповки на молотах.

Кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП)

Для горячей штамповки применяются кривошипные горячештамповочные прессы с усилием от 630 до 10 000 *т* (6,3—100 *Мн*). Такие прессы успешно заменяют паровоздушные штамповочные молоты с весом падающих частей от 0,63 до 10 *т* (1000 *т* усилия пресса примерно эквивалентны 1 *т* веса падающих частей молота).

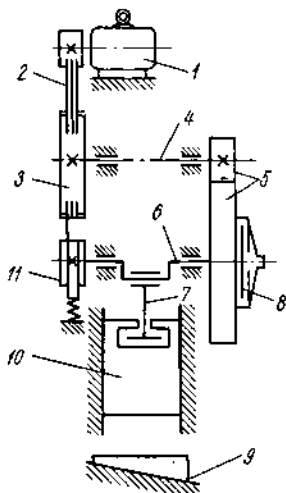


Рис. 103. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы

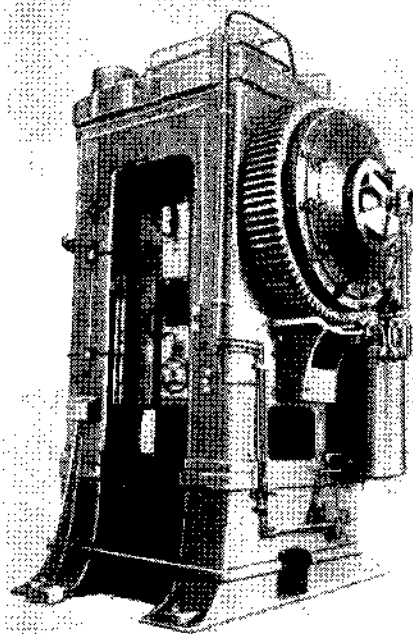


Рис. 104. Общий вид кривошипного горячештамповочного прессы усилием 1600 *т* (16 *Мн*)

Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы изображена на рис. 103. От электродвигателя 1 посредством клиноременной передачи 2 вращается маховик 3, сидящий на промежуточном валу 4. С вала 4 посредством зубчатой передачи 5 вращение передается на кривошипный вал 6. Ползун 10, скрепленный

посредством шатуна 7 с кривошипным валом 6, получает возвратно-поступательное движение. Верхняя (подвижная) часть штампа прикрепляется к ползуну 10, а нижняя (неподвижная) — к столу пресса 9.

Стол пресса 9 имеет специальное клиновое устройство для регулировки расстояния между штампами в крайнем нижнем положении ползуна (закрытой высоты). В ползуне и в столе пресса помещаются выталкиватели, приводящиеся в действие от кривошипного вала и служащие для удаления поковки из штампа.

Включение и выключение кривошипно-шатунного механизма осуществляется пневматической многодисковой фрикционной муфтой 8, а остановка — при помощи пневматического ленточного тормоза 11. Управление прессом кнопочное и педальное.

Общий вид пресса для горячей штамповки изображен на рис. 104. Пресс имеет массивную сварную или литую станину. Так как усилие штамповки непосредственно воспринимается станиной, то для обеспечения точности поковок помимо достаточной прочности она должна обладать еще и необходимой жесткостью, исключающей появление в ней больших упругих деформаций.

Пресс может осуществлять одиночные ходы, толчковые, применяющиеся при наладке штампов, и непрерывные, необходимые при автоматизации процесса штамповки. Число непрерывных ходов, совершаемое ползуном пресса в минуту, зависит от его усилия и колеблется от 90 до 35, уменьшаясь с возрастанием усилия пресса.

Штампы для штамповки на кривошипных прессах и виды штамповки

Благодаря отсутствию ударов при штамповке на кривошипных прессах вместо цельного штампа (как для молотов) применяется составной штамп, состоящий из отдельных вставок с соответствующими ручьями. Вставки закрепляются при помощи прихватов и болтов в специальных обоймах — башмаках, имеющих направляющие колонки (у нижнего башмака) и втулки (у верхнего башмака).

Общий вид штампа для штамповки поковки автомобильного кривошипа изображен на рис. 105. Использование штампов из отдельных вставок в несколько раз снижает расход штамповой стали, облегчает изготовление ручьев и, кроме того, позволяет производить штамповку до полного износа ручья вставки.

На кривошипных прессах могут быть осуществлены следующие виды штамповки:

- 1) штамповка с облоем в открытых штампах, как это имеет место при штамповке на молотах;
- 2) штамповка выдавливанием (прессованием);
- 3) комбинированная штамповка.

При штамповке поковок с облоем необходимы подготовительные и черновые ручьи для постепенного формообразования; каждый

предыдущий ручей должен облегчать работу последующего, постепенно приближая форму заготовки к форме готовой поковки, как это видно из схемы штамповки поковки шестерни, приведенной на рис. 106, б.

На рис. 106, а изображен штамп для точной штамповки поковки конической шестерни полуоси автомобиля с зубом. Поковка конической шестерни (рис. 106, б) штампуется на прессе усилием

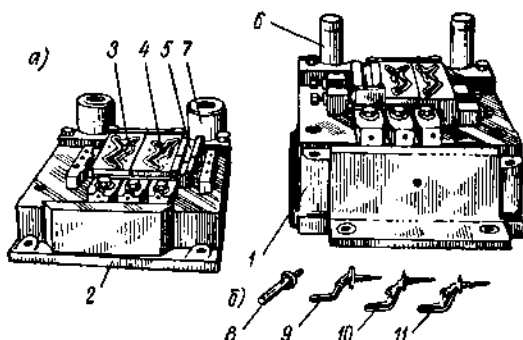


Рис. 105. Общий вид штампа (а — верхняя половина; б — нижняя) для штамповки поковки кривошипа и технологические переходы:

1 — нижний башмак; 2 — верхний башмак; 3 — вставка с чистовым ручьем; 4 — вставка с черновым ручьем; 5 — вставка с гибочным ручьем; 6 — направляющая колонка; 7 — направляющая втулка; 8 — заготовка после вальцовки и высадки на ГКМ; 9 — после гибки; 10 и 11 — после штамповки в черновом и чистовом ручьях

2500 т (25 Мн) из заготовки диаметром 80 мм, длиной 180^{+2}_{-1} мм (сталь 12ХНЗА или 18ХГТ), нагреваемой в индукторе до 1200° за 10—12 сек. Вес заготовки составляет 7,2 кг, а вес поковки 6,0 кг.

Технологический процесс штамповки осуществляется за три перехода: осадка в заготовительном ручье 7, штамповка в черновом 10 и чистовом 9 ручье (рис. 106, а). Нижние вставки 4, 3, 14 укрепляются в башмаке 1 с помощью прижимной планки 5 и прихватов 18. Соосность ручьев регулируется с помощью винтов 17 и 13. Аналогичное крепление и регулировку имеют верхние вставки штампа. Нижние вставки черногового 10 и чистового 9 ручьев имеют вкладыши 12 и 6, в которых располагается часть полости ручьев, формирующей зубья шестерни. Так как эта часть полости подвержена наибольшему износу, то она и делается сменной. Частями ручьев штампа, с помощью которых происходит наметка отверстий в поковке шестерни и выталкивание ее из ручья, являются выталкиватели 11 и 15. Перемещение этих выталкивателей осуществляется посредством толкателей 16 и 2, получающих движение от главного вала и шатуна прессы.

Устройство верхних выталкивателей аналогично устройству нижних. Для соблюдения общей соосности сборного штампа башмаки 1 и 8 имеют направляющие колонки и втулки.

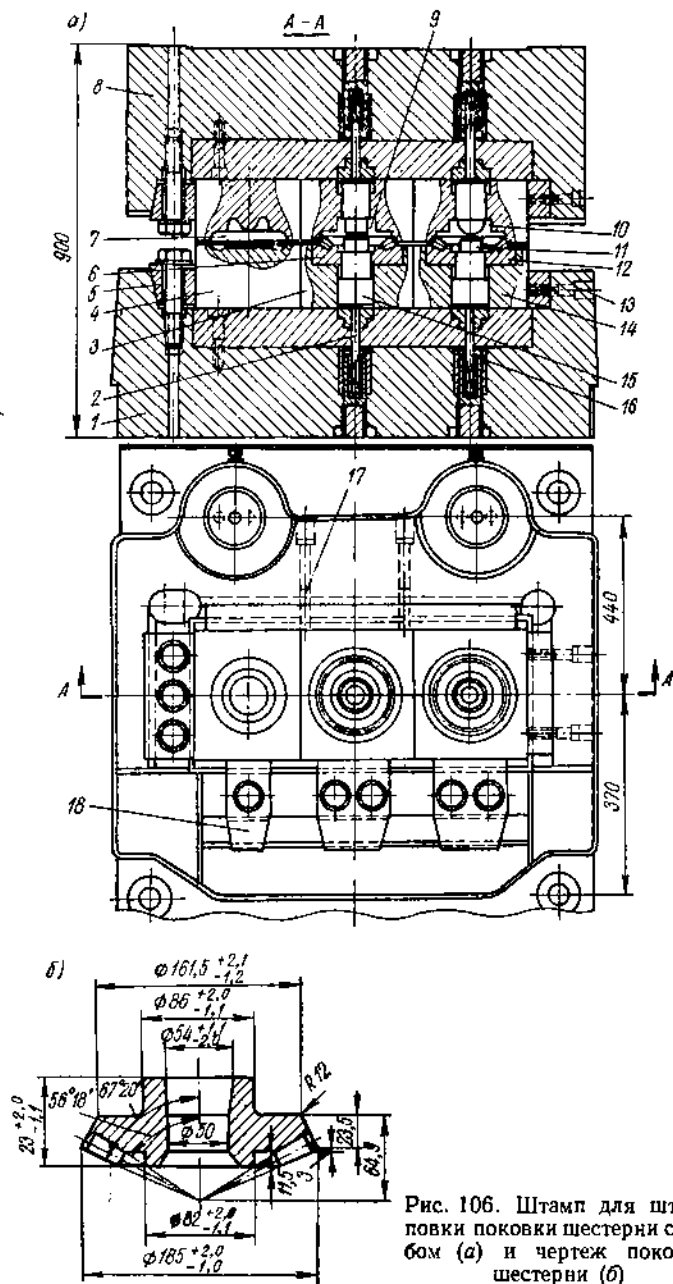


Рис. 106. Штамп для штамповки поковки шестерни с зубом (а) и чертеж поковки шестерни (б)

Приведенная конструкция штампа и технология штамповки позволяют получить шестерни с припуском на механическую обработку по профилю зуба не более 0,8 мм на сторону, вследствие чего значительно снижается как расход металла в стружку, так и трудоемкость механической обработки. Прочность шестерен со штампованным зубом благодаря расположению волокон макроструктуры по его контуру повышается в среднем на 48% по сравнению с шестернями, изготавливаемыми резанием.

Штамповка выдавливанием (прессованием), как указывалось в гл. V, является одним из прогрессивных технологических процессов. Этот метод по сравнению с обычной штамповкой обеспечивает повышенную пластичность металла, что позволяет изготавливать поковки из малопластичных высокопрочных сталей и сплавов. Исключительно важным преимуществом процесса штамповки выдавливанием является возможность получения поковок с высокими механическими свойствами при малых отходах металла. В качестве примера технологического процесса выдавливания можно привести технологию изготовления поковки цапфы поворотного кулака, штамп для которой изображен на рис. 107.

Штамповка производится за четыре перехода на прессе усилием 2500 т (25 Мн) из заготовки диаметром 85 мм и длиной 210 мм. В ручье 1 происходит осадка заготовки, в ручье 2 — закрытая прошивка, в ручье 3 — прошивка пленки с последующим выдавливанием трубчатого стержня, в ручье 4 — окончательная штамповка фланца.

Комбинированная штамповка заключается в сочетании заготовительных операций, производимых на ковочных вальцах, горизонтально-ковочных машинах с операциями штамповки, осуществляемыми на кривошипном прессе. Примером технологического процесса комбинированной штамповки может служить изготовление поковки кривошипа, штамп для которой и технологические переходы штамповки изображены на рис. 105. Поковка кривошипа штампуются из заготовки диаметром 40 мм, длиной 482 мм. Заготовительные операции производятся на ковочных вальцах и ГКМ. Нагретый конец заготовки подвергается вальцовке в двух ручьях ковочных секторов, встроенных в горизонтально-ковочную машину, а затем высадке бурта за три перехода на ГКМ. Заготовка, полученная после вальцовки и высадки (рис. 105, 8), вновь подвергается нагреву и последующей штамповке на прессе усилием 2500 т (25 Мн) в трехручьевом штампе (рис. 105). Технология штамповки на прессе состоит из трех операций: гибки (рис. 105, 9), штамповки в черновом ручье (рис. 105, 10) и штамповки в чистовом ручье (рис. 105, 11). Производительность штамповки составляет 125—140 поковок в час.

Для ориентировочного определения усилия пресса при штамповке можно использовать эмпирические формулы, применяемые при расчете молота, считая, что молот с весом падающих частей

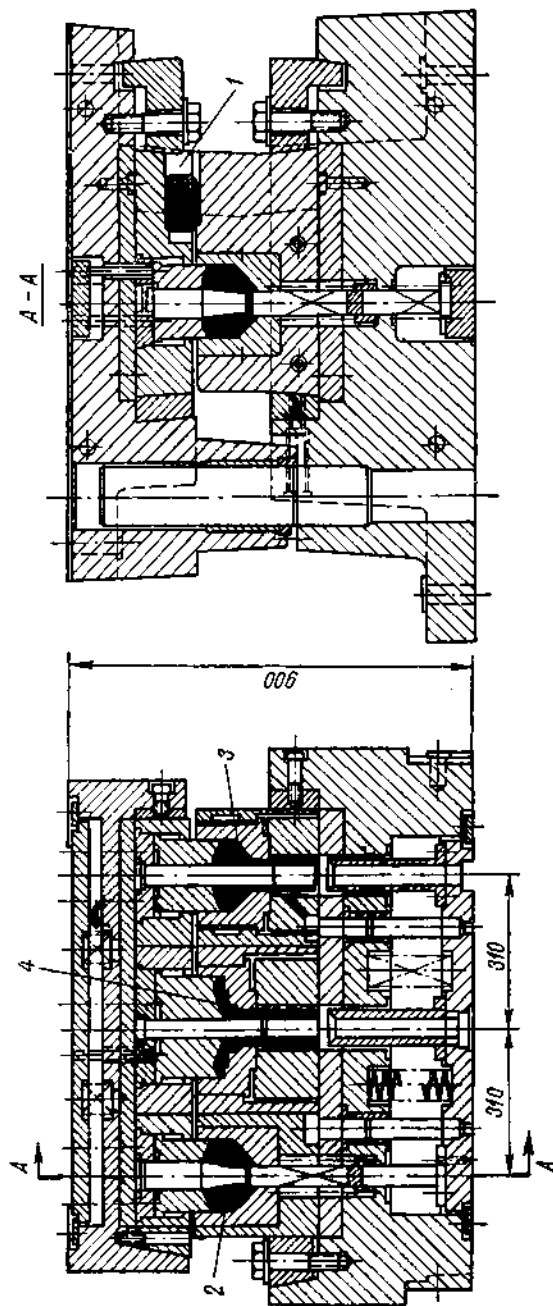


Рис. 107. Штамп для штамповки выдавливанием поковки цапфы поворотного кулака

в 1 т эквивалентен усилию прессы в 1000 т. Более точно усилие (в кг) при облойной штамповке поковок круглых в плане или близкой к ним формы может быть определено по формуле М. В. Сторожева [50]

$$P = \sigma_{\text{в}} \left[\left(1,5 + \frac{1}{2} \frac{l}{s} \right) F_0 + \left(1,5 + \frac{l}{s} + 0,08 \frac{d}{s} \right) F_n \right], \quad (114)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ — предел прочности материала поковки при температуре конца штамповки в кг/мм² (Мн/мм²);

l и s — длина мостика канавки для облоя и толщина облоя в мм;

d — максимальный диаметр поковки в плане в мм;

F_0 — площадь проекции мостика канавки в плане по периметру поковки в мм²;

F_n — площадь проекции поковки в плане в мм².

§ 35. ШТАМПОВКА НА ВИНТОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ ПРЕССАХ

Характерной особенностью винтовых фрикционных прессов является сочетание в них ударного действия и статического давления, поэтому они являются машинами промежуточного вида (между молотами и прессами).

Возможность регулирования величины хода ползуна, а следовательно, и его энергии, отсутствие заклинивания и наличие нижнего выталкивателя у этих прессов позволяют штамповать поковки с малыми уклонами различной конфигурации, вес которых достигает 20 кг. Примеры поковок, изготавливаемых на винтовых фрикционных прессах приведены на рис. 108.

На фрикционных прессах возможна штамповка в разъемных матрицах, позволяющая изготавливать поковки такой комбинированной конфигурации, которую нельзя получить в молотовых штампах или в штампах для кривошипных прессов. В последнее время на фрикционных прессах успешно производится точная штамповка цилиндрических и конических шестерен с прямым и спиральным зубом. В зависимости от точности изготовления штампов точность поковок достигает 0,1—0,2 мм.

Чертеж поковки составляется по общим принципам, используемым при конструировании поковок для штамповки на молотах

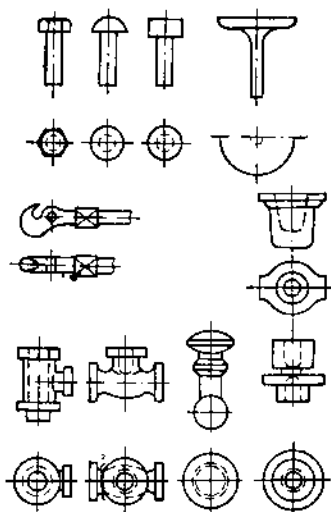


Рис. 108. Примеры поковок, изготавливаемых на винтовых фрикционных прессах

и прессах с учетом возможности выбора дополнительных плоскостей разъема в случае штамповки в разъемных матрицах. Расчет исходной заготовки в зависимости от конфигурации поковки производится по той же методике, которая применяется в случае штамповки на молотах и прессах. При расчете заготовок для поковок стержневой формы с головками следует руководствоваться правилами высадки на ГКМ (см. § 37).

Фрикционные прессы

Общий вид фрикционного прессы изображен на рис. 109. От электродвигателя 1, укрепленного на кронштейне с левой

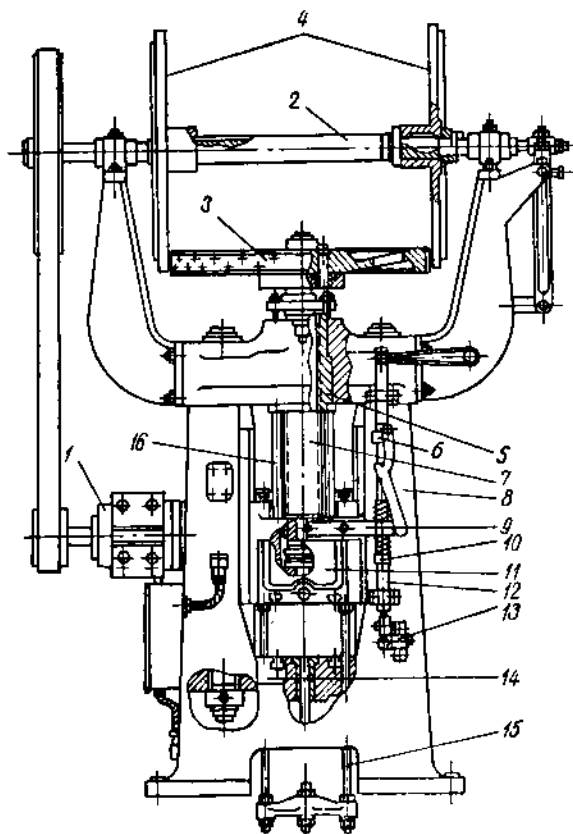


Рис. 109. Общий вид винтового фрикционного прессы

стороны станины 8, вращение передается на горизонтальный вал 2 с двумя фрикционными дисками 4. Когда пресс остановлен, то его ползун 11 находится в крайнем верхнем положении.

При нажатии на рукоятку 13 горизонтальный вал 2 (с помощью соответствующих тяг и рычагов) вместе с дисками 4 передвинется вдоль своей оси влево, правый диск прижмется к маховику 3, укрепленному на верхнем конце ходового винта 7. Маховик 3 за счет трения получит вращение; винт 7, ввинчиваясь в гайку 5 (закрепленную в станине), будет перемещать ползун 11 вниз. По мере ввинчивания винта 7 скорость вращения маховика 3 возрастает и накопленная им кинетическая энергия в крайнем нижнем положении ползуна 11 будет затрачена на деформацию.

На ползуне имеется планка 9 со втулкой, скользящей по тяге 12, на которой закреплены два хомута 6 и 10 с амортизационными пружинами. В крайнем нижнем положении ползуна планка ударит по нижнему хомуту 10, благодаря чему в конечном итоге произойдет перемещение горизонтального вала 2 вправо, к маховику 3 прижмется левый диск 4, маховик получит противоположное вращение, и винт 7, вывинчиваясь, потянет ползун 11 вверх¹. В крайнем верхнем положении ползуна планка 9 ударит в верхний хомут 6, положение которого отрегулировано так, что после удара диски 4 установятся в нейтральное положение.

Для осуществления нового хода производится новое нажатие на рукоятку 13. В последнее время вместо рукоятки к прессам пристраивается пневматическое приспособление, управляемое от педали.

Фрикционные прессы строятся с усилием от 40 до 630 т (0,4—6,3 Мн) и числом ходов ползуна от 39 до 11 в минуту. Штампы для фрикционных прессов (так же как и для кривошипных) состоят из вставок, зажимающихся в башмаках, прикрепляемых к столу прессы 14 и ползуну 11. Прессы имеют выталкиватели, помещенные в столе и ползуне, связанные с тягами 15, 16 и служащие для выталкивания поковок из штампов. Основным недостатком фрикционных прессов является сравнительно низкая производительность из-за их тихоходности.

Виды штамповки

На фрикционных прессах осуществляются следующие виды штамповки: штамповка с облоем в открытых штампах, штамповка в закрытых штампах без разъема матриц, штамповка в закрытых штампах с разъемом матриц и штамповка выдавливанием.

Наибольший интерес представляет штамповка в закрытом штампе с разъемом матрицы, позволяющая изготавливать поковки сложной конфигурации, которые вынуть из неразъемной матрицы невозможно. Как правило, закрытые штампы для фрикционных прессов состоят из пуансона (верхний штамп) и матрицы (нижний штамп); пуансон входит в матрицу с небольшим зазором, что почти полностью исключает образование облоя. Матрицы

¹ Ходовой винт скреплен с ползуном при помощи подпятника.

закрытых штампов могут иметь не один, а несколько разъемов и состоять из нескольких частей. Простейшим примером закрытого штампа с разъемной матрицей может служить штамп для поковки головки рычага, изображенный на рис. 110. После деформации заготовки пуансоном 2 и заполнения полости штампа металлом выталкиватель 5 толкает матрицы 3, которые расходятся в конической обойме 4, смонтированной в плите 6, и позволяют извлечь поковку 1.

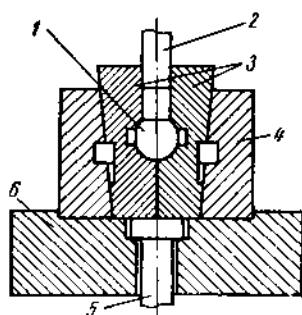


Рис. 110. Схема устройства закрытого штампа для штамповки поковки головки рычага на фрикционном прессе

Работа на фрикционных прессах может сочетаться с другими машинами, например с ковочными вальцами, горизонтально-ковочными машинами и т. п. На фрикционных прессах могут осуществляться подготовительные операции в виде высадки для последующей штамповки на молотах или кривошипных прессах. Усилие, потребное для штамповки на фрикционном прессе, может быть определено ориентировочно

$$P = k\sigma_s F_n, \quad (115)$$

где k — коэффициент, зависящий от скорости деформации и других факторов, для фрикционных прессов равный 5.
 F_n — площадь проекции поковки на плоскость разреза штампа, перпендикулярную вертикальной оси, в мм^2 .

§ 36. ШТАМПОВКА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ

Современные гидравлические штамповочные прессы строятся на весьма большие усилия (достигающие 100 000 t), позволяющие производить штамповку крупных поковок с весом в несколько сот килограммов и более (до 5 t) [34].

Гидравлические штамповочные прессы по своему устройству принципиально не отличаются от ковочных (см. гл. VI). Исходной заготовкой при штамповке на гидравлических прессах является прокат, в том числе листовой, кованый слиток, а также полуфабрикат свободнойковки.

На гидравлических прессах штампуют различного рода рычаги, вилки, фланцы, зубчатые колеса, полые корпуса, диски железнодорожных колес, коленчатые валы, сферические днища различных баков, поковки стабилизаторов, лопасти самолетных винтов, гребные винты судов, крупные панели из легких сплавов и др. Наиболее характерными поковками являются поковки, представляющие собой тела вращения. При штамповке таких поковок преобладают процессы прошивки и выдавливания. Типичными примерами поковок, изготавлиющихся прошивкой с выдав-

ливанием, могут служить поковки полых корпусов, втулок с фланцами, чашек и т. п. В качестве примера на рис. 111 изображены операции изготовления гильзы. Цилиндрическая заготовка 2 помещается в матрицу 5 и центрируется подвижным кольцом 3 (рис. 111, а). При опускании пуансона 1 заготовка, заполняя полость матрицы, опускается ниже кольца 3, после чего начинается прошивка.

При прошивке пуансоном 1 заготовки 2 образуется гильза 4, имеющая небольшую конусность наружной поверхности. При подъеме пуансона 1 кольцо 3 выполняет роль съемника. Гильза 4 извлекается из матрицы 5 при помощи выталкивателя 6, который также формирует ее дно. Для получения цилиндрической гильзы с равномерной толщиной стенки, коническую гильзу 2 с помощью пуансона 1 протягивают через несколько колец 3, как, например, это изображено на рис. 111, б.

Производительность штамповки на гидравлических прессах в первую очередь зависит от сложности технологического процесса изготовления поковки, от мощности и скорости рабочего хода пресса. Следует отметить, что за последние годы созданы мощные малогабаритные гидравлические штамповочные прессы оригинальной конструкции. Станина такого пресса выполнена в виде трубы, выступающей над уровнем пола на 3—3,5 м и уходящей вниз на 4—4,5 м. В верхней части трубы укреплена одна половина штампа. Рабочий плунжер пресса находится внизу и упирается в подвижный стол, имеющий горизонтальное возвратно-поступательное перемещение сквозь окно в станине. На столе укрепляются нижние половины штампа. Когда нижняя половина штампа находится против верхней, стол останавливается (фиксируется), плунжер поднимает стол вместе с нижним штампом и помещенной в нем заготовкой вверх, производя деформацию. После этого стол опускается, перемещается вперед или назад, устанавливая другую половину штампа, в которой производится следующая операция.

Пресс развивает усилие в 15 000 т (150 Мн), скорость подъема плунжера, т. е. скорость деформирования составляет 150—200 мм/сек, в десятки раз превышая скорость у обычных прессов той же мощности. Прессы указанной конструкции дают возможность производить штамповку с вибрационной нагрузкой,

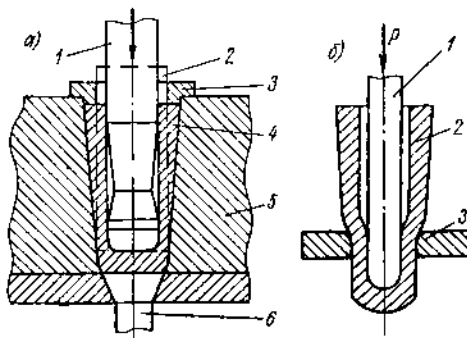


Рис. 111. Изготовление гильзы на гидравлическом прессе

в результате чего снижается величина деформирующего усилия, повышается равномерность деформации по объему поковки и стойкость штампов, а также увеличивается точность поковок.

§ 37. ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ (ГКМ)

Горячая штамповка на горизонтально-ковочных машинах, являясь одним из высокопроизводительных и экономичных способов, имеет широкое применение в производстве поковок различной конфигурации. На рис. 112 изображены некоторые типы поковок, изготавливаемых на ГКМ. Как видно из рисунка, на ГКМ можно штамповать поковки шестерен, клапанов, болтов, гаек, колец, втулок, фланцев, колпачков, валиков с уступами, головок гаечных ключей и т. п.

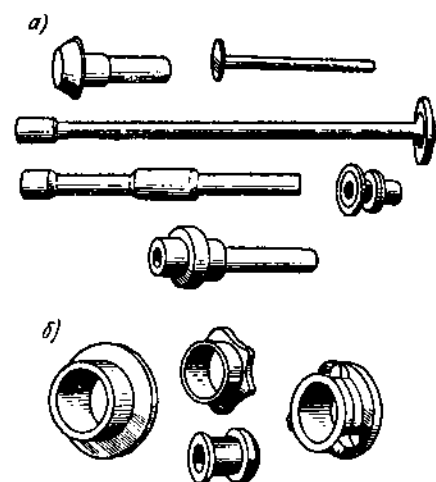


Рис. 112. Некоторые типы поковок, изготавливаемых на горизонтально-ковочных машинах: а — без сквозных отверстий; б — со сквозными отверстиями

Кроме этого, на ГКМ могут производиться заготовительные операции для последующей штамповки на других машинах. Например, может быть получена заготовка с высаженными головками для последующей штамповки поковки шатуна в штампе, изображенном на рис. 100.

Штамповка на ГКМ применяется в условиях крупносерийного и массового производства и особенно в автотракторной и авиационной промышленности. Исходной заготовкой для штамповки на ГКМ является прокат в виде мерных заготовок или прутков, чаще круглого сечения и реже квадратного.

Штамповка на ГКМ имеет целый ряд преимуществ: 1) возможность штамповки в закрытых штампах (без облоя); 2) возможность штамповки без штамповочных уклонов, что сокращает припуски и допуски на поковку; 3) возможность обеспечения в поковке наиболее благоприятного направления волокон макроструктуры, придающего ей наибольшую прочность; 4) высокая производительность, достигающая 400—900 шт. поковок в час; 5) возможность полной автоматизации технологического процесса штамповки.

Устройство горизонтально-ковочной машины

Горизонтально-ковочные машины являются кривошипно-рычажно-кулачковыми механизмами. Эти машины в зависимости от способа работы зажимного механизма и расположения разъема штампов (вертикальное или горизонтальное) бывают различной конструкции. На рис. 113, а изображен общий вид наиболее часто встречающейся горизонтально-ковочной машины с вертикальным разъемом штампов, кинематическая схема ее приведена на рис. 113, б.

Так как сущность штамповки на ГКМ заключается в зажиме заготовки и деформации ее в торец, то машина имеет два механизма: зажимной и деформирующий. От электромотора 1 посредством клиноременной передачи 2 сообщается вращение маховику 25 (рис. 113, б). На маховике установлена пневматическая многодисковая муфта 3, служащая для включения промежуточного вала 5, от которого посредством пары шестерен 6 и 7 передается вращение коленчатому валу 8. При вращении коленчатого вала 8 шатун 9 сообщает возвратно-поступательное движение главному ползуну 15. На коленчатом валу 8 закреплены два кулачка: прямого 10 и обратного хода 11. Профили обоих кулачков постоянно соприкасаются с роликами прямого 12 и обратного 13 хода.

Ролики находятся в жесткой раме, соединенной с боковым ползуном 14. При вращении коленчатого вала 8 в направлении, указанном стрелкой, боковой ползун 14 перемещается вперед и посредством шарнирных тяг 19, 20 и 21 перемещает подвижную щеку 17 в направлении к неподвижной щеке 16, что соответствует зажиму прутка 24 между матрицами, закрепляемыми в щеках 16 и 17.

В то же время перемещается вперед главный ползун 15, несущий набор пуансонов 18. В тот момент, когда прутки 24 оказываются зажатыми между матрицами, один из пуансонов 18 производит деформацию свободного конца прутка 24. При обратном ходе щеки 17 происходит разъем матриц и отход главного ползуна 15 назад.

Для остановки машины в конце рабочего хода служит ленточный тормоз 4. Для фиксирования высаживаемой длины прутка имеется подвижный упор 23, убирающийся при ходе ползуна 15 вперед. Для облегчения подачи прутка из ручья в ручей служит гидropневматический подъемник 22, установленный перед машиной. Современные ГКМ по ГОСТу 7023—56 изготавливают усилием от 100 до 3150 т (от 1,0 до 31 Мн) с числом ходов в минуту соответственно от 95 до 21.

Вес машины, развивающей усилие 3150 т (31 Мн), составляет 350 т. Максимальный диаметр прутка, который может быть обработан на машинах с усилием 100 т (1,0 Мн), составляет 20 мм, а на машинах с усилием 3150 т (31 Мн) — 250 мм.

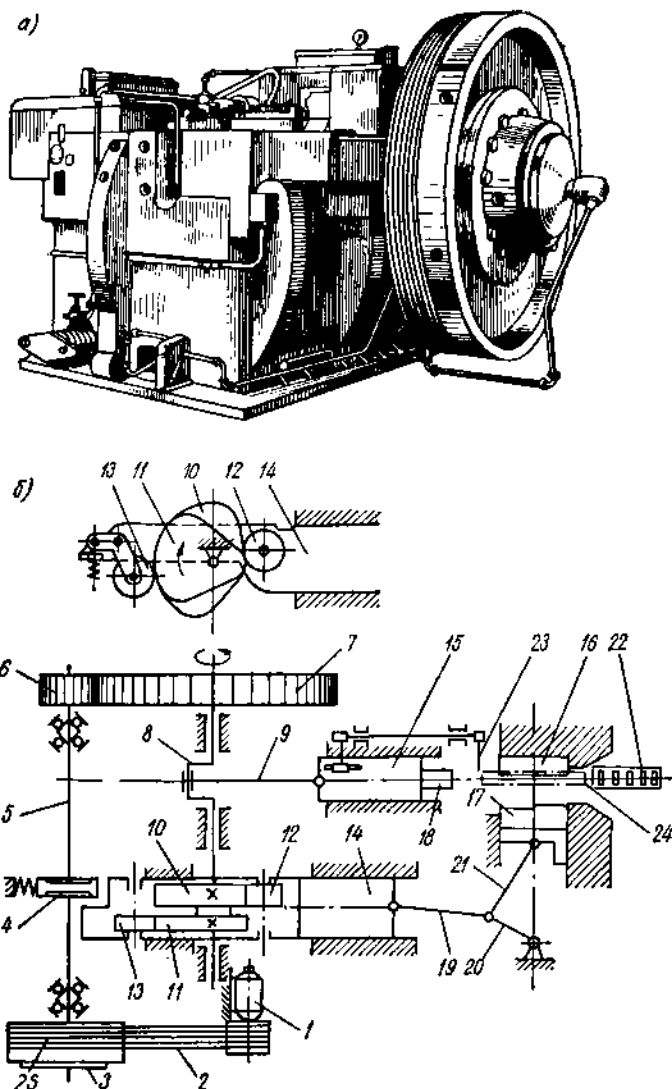


Рис. 113. Общий вид и кинематическая схема горизонтально-ковочной машины

Составление чертежа поковки для штамповки на ГKM

Составление чертежа поковки для штамповки на ГKM имеет свои специфические особенности. Перед составлением чертежа поковки ориентировочно намечается технологический процесс

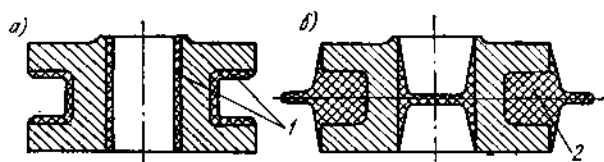


Рис. 114. Пример составления чертежа одной и той же поковки для штамповки на ГKM (а) и для штамповки на молоте (б):

1 — припуск; 2 — напуск

штамповки, приблизительно рассчитываются размеры заготовки, а затем учитываются следующие правила.

1. Чертеж поковки может составляться без напусков вследствие наличия разъемных матриц (рис. 114, а).

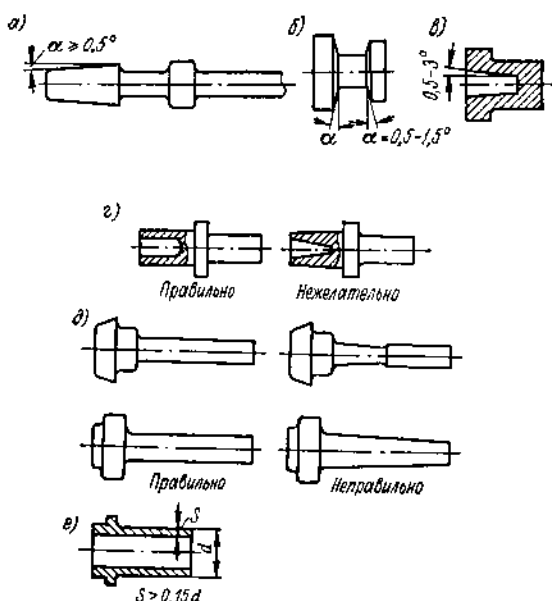


Рис. 115. Правила проектирования поковок для ГKM

2. Припуски и допуски, так же как и для молотовых поковок, предусматриваются по ГОСТу 7505—55.

3. Принимаются штамповочные уклоны: а) на цилиндрических участках длиной более половины диаметра, высаживаемых в полости пуансона, уклоны принимаются не менее $0,5^\circ$ (рис. 115, а);

б) на буртиках в глубоких круговых впадинах не менее $0,5 - 1,5^\circ \left(\frac{\pi}{360} \div \frac{3\pi}{360} \text{ рад} \right)$ — рис. 115, б;

в) на стенках глубоких несквозных отверстий, прошиваемых пуансоном, — $0,5 - 3^\circ \left(\frac{\pi}{360} \div \frac{6\pi}{360} \text{ рад} \right)$ (рис. 115, в).

4. При прошивке не должно быть сужений в продольном сечении, затрудняющих течение металла навстречу пуансону (рис. 115, г).

5. Следует избегать проектирования конических выемов и хвостовиков (рис. 115, д).

6. Толщина стенок поковки с глубокими сквозными или несквозными отверстиями должна быть больше $0,15$ наружного диаметра (рис. 115, е), в противном случае отверстие получить трудно.

7. Переходы поверхностей должны иметь закругления радиусом не менее $1,5 - 2 \text{ мм}$.

Имеется еще ряд правил, которыми пользуются при составлении чертежа поковки [52].

Технологический процесс штамповки на ГKM и принцип его проектирования

При работе на ГKM могут быть осуществлены следующие основные операции:

- 1) осадка в торец и высадка середины заготовки;
- 2) глубокая прошивка с раздачей металла в стороны;
- 3) сквозная прошивка отверстий;
- 4) гибка;
- 5) отрезка отштампованной поковки от прутковой заготовки.

На ГKM преимущественно производятся высадочные операции. Обычно штамповка осуществляется за несколько переходов (в нескольких ручьях) с одного нагрева, причем объем заготовки во всех ручьях остается неизменным. Полости для формообразования поковки могут быть одновременно и в матрице, и в пуансоне или только в пуансоне и реже только в матрице.

Так как в большинстве случаев на ГKM штамповка производится от прутка, т. е. из заготовки длиной на несколько поковок, то при диаметре прутка до $50 - 60 \text{ мм}$ длина его не должна быть более 2 м . Для прутков больших диаметров длина 2 м и более допускается только в случае наличия перед машиной подъемных механизмов.

Проектирование технологического процесса штамповки на ГKM начинается прежде всего с выбора диаметра исходного прутка. Поскольку при работе на этих машинах операция вытяжки не производится, то площадь поперечного сечения прутка должна быть не больше минимальной площади поперечного сечения поковки.

Для проектирования последовательных переходов штамповки руководствуются следующими основными правилами высадки.

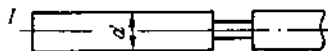
1. При штамповке поковок типа клапанов, болтов, валиков с шестеренками, полуосей автомобилей и подобных им диаметр прутка выбирается равным диаметру детали.

2. Для поковок с отверстиями диаметр прутка может приниматься равным диаметру отверстия, больше и меньше его.

3. Независимо от конфигурации полости в пуансоне или матрицах длина l выступающего из зажимной части матриц прутка должна быть

$$l \leq (2,5 \div 3) d.$$

(116)



Если длина высаживаемой части прутка будет больше указанной, то возможен продольный изгиб заготовки. Во избежание этого необходим постепенный набор металла высаживаемой части.

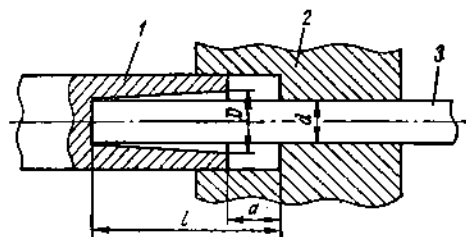


Рис. 116. Схема конструкции штампа при наборе металла в полости пуансона:
1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — прутки

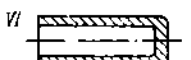
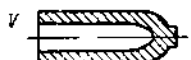
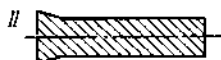


Рис. 117. Технологические переходы прошивки при штамповке поковки снарядного стакана на ГКМ

4. Набор металла предпочтительнее осуществлять в полости пуансона 1 (рис. 116). При этом меньший диаметр конуса рекомендуется принимать равным диаметру исходного прутка.

С целью исключения продольного изгиба деформируемой части прутка должны соблюдаться определенные соотношения между диаметрами наборного конуса и размером a (рис. 116):

1) если $D \leq 1,5d$, то должно соблюдаться условие $a \leq 2d$;

2) если $D \leq 1,25d$, то должно соблюдаться условие $a \leq 3d$.

5. При последующих высадках (всех после первой) за диаметр d следует принимать средний диаметр конуса, полученного в предыдущем ручье.

6. Прошивку поковок осуществляют пуансонами с головками различной формы (сферической, конической и т. п.) в зависимости от требуемой формы дна полости поковки. Глубокую прошивку (при длине больше нескольких диаметров) производят постепенно. Примером может служить постепенная прошивка при изготовлении на ГКМ снарядных стаканов (рис. 117). Как видно из рисунка,

стакан изготавливается за пять переходов (I — исходная заготовка).

7. Сквозную прошивку осуществляют пуансоном с плоским торцом (как изображено на рис. 118, б).

Расчет заготовки. Основное уравнение для расчета заготовки при штамповке на горизонтально-ковочных машинах имеет вид

$$V_{заг} = V_{пок} + V_{уг}, \quad (117)$$

где $V_{заг}$ — объем заготовки;

$V_{пок}$ — объем поковки, определяемый по чертежу;

$V_{уг}$ — объем угараемого металла.

Исходя из правил высадки, определяют диаметр и длину заготовки.

Расчет усилия при штамповке на ГKM. Усилие, необходимое при штамповке на ГKM, зависит от вида производимой операции и может быть определено по формуле проф. Залесского В. И. [16]

$$P = kF_n\sigma_{с}, \quad (118)$$

где k — коэффициент, зависящий от вида производимой операции; при высадке $k=4$, при сквозной прошивке $k=1, 7$.

Примеры технологических процессов штамповки на горизонтально-ковочных машинах

К типичным поковкам, штампуемым на ГKM, можно отнести поковки подшипниковых колец, полуосей автомобилей, клапанов и др. Приведем примеры штамповки некоторых из них.

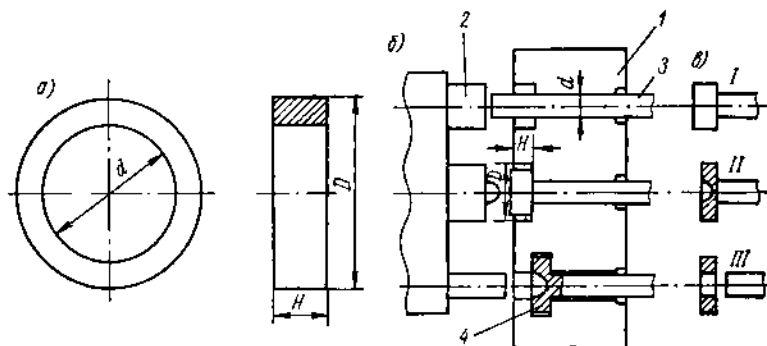


Рис. 118. Штамповка кольца шарикового (роликового) подшипника: а — эскиз поковки; б — эскиз штампа; в — технологические переходы при штамповке

Пример 1. Схема технологического процесса штамповки поковки кольца шарикового или роликового подшипника, изображенного на рис. 118, а.

По современной технологии поковка кольца подшипника качения штампуется на горизонтально-ковочной машине за три пе-

рехода, из которых первые два наборные, а третий прошивной. При штамповке поковки кольца диаметр прутка-заготовки выбирается равным внутреннему диаметру кольца. Набор материала производится в матрицах, так как объем набираемого металла невелик. Как видно из рис. 118, б, вкладыш 1 матрицы имеет три ручья. На ползуне укреплены соответственно три пуансона 2. Штамповщик закладывает прутки 3 нагретым концом в первый ручей и включает машину (обычно машина работает на самоходе).

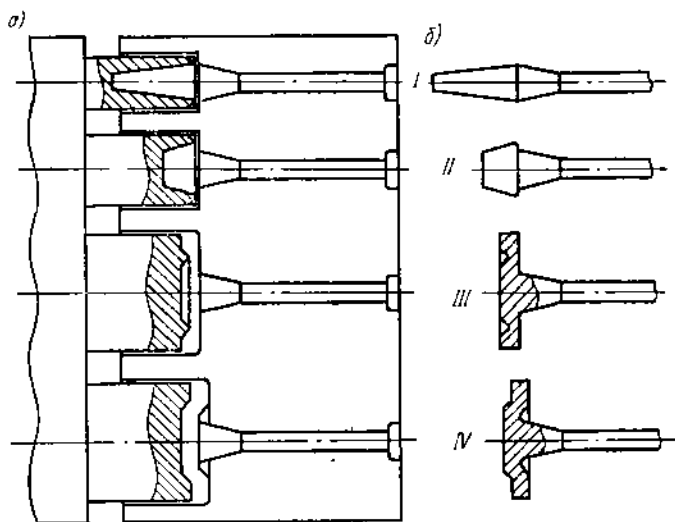


Рис. 119. Штамповка полуоси автомобиля на ГKM

Матрицы 1 сжимают прутки; первый верхний пуансон 2 производит высадку в первом ручье (рис. 118, в — переход I); после этого штамповщик переключает высаженную поковку во второй ручей, расположенный ниже, в котором производится несквозная прошивка с частичной высадкой для получения конечных размеров поковки (рис. 118, в — переход II). В третьем ручье происходит сквозная прошивка (рис. 118, в — переход III). При раскрытии матриц 1 поковка 4 падает в тару, и процесс штамповки повторяется снова.

Пример 2. Технологический процесс штамповки полуоси автомобиля.

Поковка полуоси представляет собой стержень диаметром 51 мм, на конце которого высажен фигурный фланец диаметром 180 мм. Исходной заготовкой для указанной поковки является прутки диаметром 51 мм. Для штамповки полуоси требуется горизонтально-ковочная машина, развивающая усилие 1300 т (13 Мн).

Штамповка производится в четырехручьеом штампе, в котором первые два ручья служат для набора металла, а последующие — для формовки (рис. 119, а). Набор металла производится в полости пуансона. Последовательные технологические переходы штамповки (I—IV) изображены на рис. 119, б. Для уменьшения расхода штамповой стали рабочие части матрицы делаются из вкладышей.

§ 38. ХОЛОДНОВЫСАДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Холодной высадкой изготовляют все крепежные детали, заклепки, болты, шурупы, винты, гвозди, шарики, ролики, колпачки и др. В качестве заготовок для холодной высадки используется калиброванный материал преимущественно круглого сечения диаметром от 0,6 до 38 мм. Для холодной высадки применяется как углеродистая сталь (вплоть до содержания углерода 0,5%), так и легированная, в том числе и нержавеющая типа X18N9T, а также цветные металлы и сплавы.

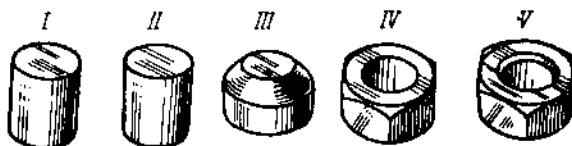


Рис. 120. Последовательные переходы при изготовлении шестигранной гайки на холодновысадочном автомате:

I — отрезка; II — снятие фаски; III — осадка; IV — штамповка шестигранныка и наметка отверстия; V — просечка отверстия

Оборудованием для осуществления холодновысадочных работ являются высокопроизводительные автоматы, работающие по принципу горизонтально-ковочных машин. Современные высадочные автоматы обеспечивают производительность от 30 до 400 штук деталей в минуту в зависимости от размеров и сложности конфигурации изделия. Точность изготовления достигает 0,03—0,04 мм. При получении изделия холодной высадкой отход металла либо вовсе отсутствует, либо крайне незначителен.

При высадке по сравнению с резанием экономится до 80% металла. Например, при изготовлении высадкой болтов с шестигранной головкой отходы металла почти в 25 раз меньше, чем при изготовлении их резанием. Материалом высадочных матриц и пуансонов служат инструментальные стали как У10А, X12, X12М, 7Х3, 9Х и др. В результате высадки головок изделий образуется наклеп, поэтому изделия, изготовляемые из стали с содержанием углерода более 0,35%, должны подвергаться отжигу.

Технологический процесс высадки изделий может состоять из одного или нескольких переходов. В один пере-

ход высаживают заклепки, винты, шурупы и подобные изделия с потайной и полупотайной головками. Длина высаживаемой части прутка в указанных случаях не должна быть больше 2—2,5 его диаметров. В два перехода высаживают заготовки болтов, заклепки, винты. В этом случае длина высаживаемой части прутка достигает 2—4 его диаметров. В качестве примеров многооперационной высадки может служить изготовление гаек и болтов. Материалом для изготовления гаек служит мягкая калиброванная сталь марок 08, 10, а также автоматная сталь. Высадка гайки производится за пять переходов. Гайка получается совершенно чистой и кроме нарезки резьбы не требует иной механической обработки. Последовательные переходы при изготовлении шестигранных гаек изображены на рис. 120. Отход металла при такой технологии изготовления гайки составляет 12—25%. Изготовление гаек производится из бунта проволоки, подающейся при помощи роликов. Все переходы полностью автоматизированы.

Технологический процесс изготовления болтов состоит из пяти переходов: отрубки заготовки, обжатия стержня болта на длину до будущей головки — редуцирования (уменьшения в диаметре при проталкивании стержня через фильер); высадки головки, обрезки головки под шестигранник, подрезки торца.

§ 39. ШТАМПОВКА ПОКОВОК И ФАСОНИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК НА КОВОЧНЫХ ВАЛЬЦАХ

Вальцовка напоминает обычную продольную прокатку, осуществляемую в одной рабочей клетке, с той лишь разницей, что на валках ковочных вальцов ручки представляют собой не кольцевые пазы, а полости, выполненные по конфигурации поковки. Схема процесса вальцовки изображена на рис. 121, а. Нагретая заготовка 1 (или прутки), удерживаемая клещами 2, подается до упора 3 в тот момент, когда штампы в виде секторов 4, закрепленные на вращающихся валках 5, находятся на диаметрально противоположных сторонах. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости б.

На вальцах изготавливаются поковки сравнительно несложной конфигурации, типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей, ножниц, ножей, медицинского инструмента и т. п. Кроме того, на вальцах производятся операции фасонирования заготовок, являющиеся подготовительными для последующей штамповки на молотах или на прессах. Известно, что такие заготовительные операции, как подкатка и протяжка, при работе на молотах отнимают до 50% общего машинного времени штамповки. Проведение же этих операций на прессах почти невозможно. Перевод заготовительных операций на ковочные вальцы, установленные рядом со штамповочной машиной, и осуществление на ней последующей штамповки в одном ручье и с одного нагрева, дает ряд

преимуществ: повышается производительность штамповочной машины на 20—45%; уменьшается расход металла и значительно упрощается конструкция штампов.

Ковочные вальцы изготавливаются двух типов — двухопорные и консольные. *Ковочные вальцы* двухопорного типа сходны с рабочей клетью прокатного стана, валки в них приводятся во вращение от электродвигателя через редуктор и пару шестерен, заменяющую шестеренную клеть. *Вальцы консольного типа* (рис. 121, б) более компактны, рабочие валки находятся навесу, что обеспечивает большее удобство для работы, смены и наладки инструмента. Однако они имеют меньшую жесткость конструкции, а следовательно, обеспечивают штампуемой поковке и меньшую точность.

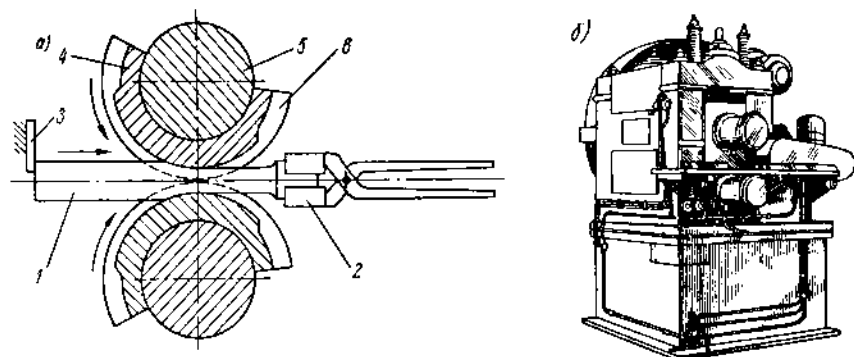


Рис. 121. Вальцовка поковок (а), ковочные вальцы (б)

Профилирование и штамповка на вальцах производится в одном или нескольких ручьях. Штамповка, а также иногда и фасонировка, сопровождаются образованием облоя, поэтому при последующей штамповке заготовку следует располагать в штампе так, чтобы образованный облой на заготовке совпадал с облойной канавкой в штампе.

Исходное сечение заготовки для вальцовки должно быть равно максимальному сечению поковки. Штамповку поковок на вальцах рекомендуется производить из заготовок квадратного сечения.

При фасонировке заготовок из сталей температура окончания вальцовки не должна быть ниже 1000—1150°, чтобы последующая штамповка могла бы быть проведена с достаточными степенями деформации. Так как при вальцовке почти неизбежны смещения, то наиболее благоприятным случаем вальцовки является такой, когда полость расположена только в одном секторе валка, а другой при этом гладкий. При расчете вальцовочного ручья следует учитывать прогиб валков и уменьшать его глубину на 0,5—1 мм. Длина ручья по дуге должна быть уменьшена на величину опережения, т. е. в среднем на 5—6% (см. § 9).

Рабочий ручей располагается по дуге $240\text{--}270^\circ \left(\frac{4}{3} \pi \div \div \frac{3}{2} \pi \text{ рад} \right)$, а нерабочая часть валка составляет дугу $120\text{--}90^\circ \left(\frac{2}{3} \pi \div \div \frac{1}{2} \pi \text{ рад} \right)$. Для экономии штамповой стали штампы ковочных валцов изготавливаются в виде секторов, закрепляемых на валках при помощи болтов и планок. Иногда (при непрерывном процессе получения поковок) штампы с ручьями располагаются по всей длине окружности валков.

§ 40. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОКОВОК НА РОТАЦИОННО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ

Изготовление поковок на ротационно-ковочных машинах (редуцирование) подобно операции вытяжки и заключается в местном обжатии заготовки по ее периметру. Редуцирование производится в горячем и холодном состоянии. Исходной заготовкой служит прокат круглого и квадратного профиля или труба. Типичными поковками, изготавливаемыми редуцированием, являются различного рода ступенчатые валики или ступенчатые поковки с квадратным и другим сечением, конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т. п.

Редуцированию в горячем состоянии могут подвергаться прутки до 150 мм и трубы до 300 мм в диаметре. При изготовлении поковок редуцированием может быть достигнута высокая точность — в пределах 0,1—0,3 мм. Процессы редуцирования производятся на ротационно-ковочных машинах, которые имеют несколько бойков, производящих большое количество ударов. Эти машины выполняются в двух вариантах — с вращающимися и невращающимися бойками.

На рис. 122 изображена схема ротационно-ковочной машины с вращающимися бойками. Заготовка 1 в виде прутка помещается между бойками машины 2, находящимися в шпинделе 3. При вращении шпинделя благодаря роликам 4, помещенным в обойме 5, бойки 2 будут производить удары по заготовке 1. Количество ударов зависит от скорости вращения шпинделя, количества роликов в обойме и одновременно действующих пар бойков. У машин с невращающимися бойками вращается обойма с роликами.

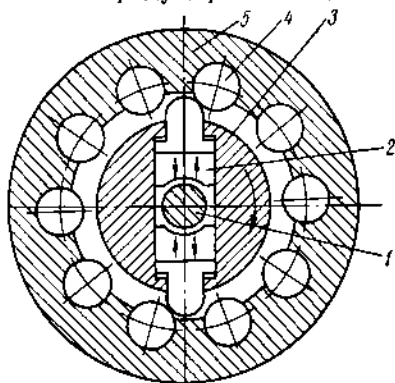


Рис. 122. Схема ротационно-ковочной машины

Ротационная ковка экономична в тех случаях, когда изготавливаются поковки простой формы: в этих случаях может быть достигнуто повышение производительности по сравнению с резанием в 5—6 раз при той же чистоте поверхности.

§ 41. ОБРЕЗНЫЕ ОПЕРАЦИИ

При штамповке в открытых штампах вокруг поковки образуется облой, который подлежит обрезке. Кроме того, при штамповке поволоков типа шестерен с внутренними отверстиями на поволоках остаются пленки, подлежащие прошивке.

Обрезка облоя и прошивка пленок производится при помощи штампов, состоящих из матрицы и пуансона, устанавливаемых на кривошипные или эксцентрикковые прессы.

На рис. 123, а изображена схема обрезки облоя. Поковка 1 помещается в матрицу 3 так, что она своим облоем ложится на

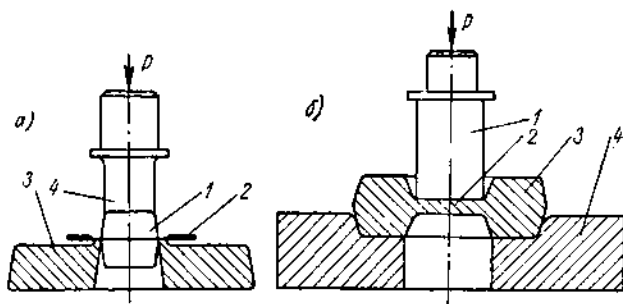


Рис. 123. Схема обрезки облоя (а) и прошивки пленки (б)

ее режущие кромки. При нажатии пуансоном 4 на поковку 1 режущие кромки матрицы 3 срезают облой 2 по всему ее периметру; поковка проваливается, а облой остается на матрице. Для того чтобы облой не застревал, на пуансоне применяются различного рода съемники.

На рис. 123, б изображена прошивка пленки. Поковка 3 укладывается в матрицу 4 и при помощи пуансона 1 прошивается; отход в виде пленки 2 проваливается в отверстие и собирается в торец, установленную под столом прессы.

На рис. 124 изображен обрезной штамп для поковки шатуна. Обрезка облоя и прошивка пленок осуществляется как в холодном, так и в горячем состоянии. Облой и пленки у мелких поволоков из малоуглеродистых, среднеуглеродистых и малолегированных сталей обрезаются в холодном состоянии. Операции обрезки и прошивки мелких поволоков производятся в обрезном отделении штамповочного цеха на прессах усилием не более 50 т (500 кН).

Крупные поковки сразу же после штамповки обрезаются и прошиваются на обрезном прессе, установленном непосредственно около молота или штамповочного пресса.

Обрезные матрицы имеют отверстия, контур которых совпадает с контуром поковки в плоскости разреза, и изготавливаются как цельными, так и составными, состоящими из отдельных секций. Режущие кромки матрицы могут быть как плоскими, так и скошенными¹. Ширина режущей кромки b (рис. 124) приблизительно равна длине мостика для облоя. Высота режущей кромки h в зависимости от толщины облоя колеблется в пределах 5—10 мм.

Во избежание изгиба поволоков и смятия их выступающих частей необходимо точное прилегание торцовых поверхностей пуансонов к соответствующим поверхностям поволоков. Поэтому после изготовления пуансонов по чертежу производится слесарная подгонка их по поковке.

Материалом для обрезных штампов служат углеродистые и легированные инструментальные стали. Для горячей обрезки облоя матрицы и пуансоны изготавливаются из сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 7ХЗ и т. п. Для холодной обрезки облоя матрицы изготавливаются из сталей Х12М, У10, У8 и др., а пуансоны из сталей 8ХЗ, 5ХНВ и др.

Пуансоны для прошивки изготавливаются из тех же материалов, что и обрезные матрицы.

Стойкость обрезных матриц колеблется в пределах 2500—12 000 поволоков, а пуансонов — в пределах 4000—20 000 поволоков.

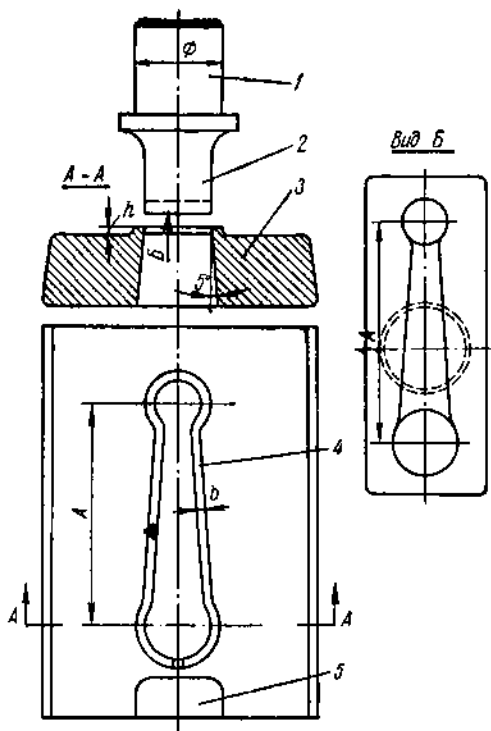


Рис. 124. Обрезной штамп для поволоков шатуна:

1 — хвостовик пуансона; 2 — пуансон; 3 — матрица; 4 — режущая кромка матрицы; 5 — клещевая вставка

¹ Скошенные кромки делаются для снижения усилия обрезки.

Усилие, потребное для обрезки облоя или для прошивки, определяется

$$P = (1,5 \div 1,8) \tau_{ср} s L, \quad (119)$$

где $(1,5 \div 1,8)$ — коэффициент, учитывающий влияние затупления режущих кромок и запас усилия обрезного пресса;

$\tau_{ср}$ — напряжение сопротивления срезу при температуре обрезки или прошивки в кг/мм^2 (н/мм^2);

s — действительная толщина среза облоя или пленки в мм ;

L — периметр среза в мм .

Действительная толщина среза s учитывает радиусы закругления в месте среза, их увеличение за счет износа штампа и возможную недоштамповку, равную положительному допуску. Приближенно можно принимать, что действительная толщина среза в 2,5—3 раза больше номинальной толщины облоя или пленки.

§ 42. ОТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

К числу отделочных операций, совершаемых над поковками, относятся: правка, термообработка, очистка от окалины, калибровка (чеканка).

Правка поковок

При штамповке (вследствие застревания и принудительного выема поковки из штампа), при неправильной обрезке облоя, а также при термообработке поковки искривляются. Наиболее подвержены искривлению поковки большой длины, с тонкими ребрами и резкими переходами сечений. Для устранения искривления поковки применяется правка, осуществляемая как в холодном, так и в горячем состоянии.

Для крупных поковок и для поковок из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей иногда применяется горячая правка, осуществляемая в чистовом ручье штампа сразу же после обрезки облоя. Однако такой метод правки из-за встречного грузопотока снижает производительность штамповочного агрегата. Более целесообразно горячую правку производить на обрезном прессе в комбинированном штампе или на отдельном молоте (прессе), включенном в штамповочный агрегат.

Холодная правка, как правило, применяется для поковок, получивших искривление в результате термообработки. Для этой правки применяются фрикционные молоты с доской, устанавливаемые или в термическом отделении кузнечного цеха, или в специальном правочном отделении. Ручьи правочных штампов изготовляют по чертежу горячей или холодной поковки в зависимости от рода правки. В правочный ручей поковка должна помещаться

с зазором. Радиусы скругления кромок правочного ручья должны быть больше, чем на поковке. Для удобства укладки и удаления поковок правочные ручки в отличие от штамповочных имеют полость, не ограниченную с торцов поковки.

Термическая обработка поковок

Весьма важным этапом технологического процесса изготовления поковок является их термическая обработка, которая в значительной мере определяет механические свойства изделия и производительность процессов обработки резанием. Нарушение термомеханического режима горячей обработки давлением приводит к браку поковок, который в некоторых случаях может быть исправлен термической обработкой.

Основными наиболее часто применяющимися видами термической обработки поковок являются нормализация и отжиг (см. гл. VI). Термической обработкой также может быть исправлена неоднородность величины зерна, сняты внутренние напряжения, наклеп и т. п.

Очистка поковок от окалины

Очистка поковок от окалины применяется для облегчения условий работы режущего инструмента при механической обработке, а также для облегчения контроля поверхности поковок. Для очистки поковок от окалины существует несколько способов: очистка поковок во вращающихся барабанах, дробеструйная очистка, травление в кислотах.

Очистка поковок в барабанах производится следующим образом: поковки загружаются в барабан с наклонной осью вращения, в котором находятся стальные звездочки. При вращении барабана вокруг наклонной оси поковки ударяются друг о друга и об звездочки, благодаря чему и происходит сбивание окалины. Продолжительность очистки загруженной партии поковок при скорости вращения барабана $20-60 \text{ об/мин}$ ($\frac{2}{3} \pi \div 2\pi \text{ рад/сек}$) составляет около $4-4,5 \text{ ч}$. Очистка в барабанах применяется для поковок малого веса, так как при очистке тяжелых поковок неизбежно образование на их поверхности забоин. Чистота поверхности после очистки в барабанах соответствует $\nabla 1-\nabla 4$ [6].

Дробеструйная очистка заключается в том, что дробь размером $1-3 \text{ мм}$ с большой скоростью ударяет о поверхность поковок и сбивает с них окалину. Обычно большая скорость дробы придается специальными аппаратами, действующими сжатым воздухом, разбрасывающими дробь на поковки. Этот способ очистки производится в специальных камерах и применяется для очистки малых и средних поковок весом до $6-10 \text{ кг}$. Дробеструйная очистка обеспечивает чистоту поверхности $\nabla 1-\nabla 4$.

Очистка поковок от окалины *травлением* производится в водных растворах кислот, нагретых до температуры $40-60^{\circ}$. Стальные поковки загружаются в кислотоупорные ванны с водным раствором смеси серной и соляной кислот, в которых происходит растворение окислов железа. После травления поковки проходят промывку в горячей воде, нейтрализацию в щелочной ванне и затем еще раз промывку в горячей воде. Весь цикл очистки окалины травлением занимает 15—20 мин.

В качестве отделки поковок часто применяется зачистка от остатков облоя на наждачных кругах. Для этих работ кузнечно-штамповочные цехи оборудуются специальным зачистным отделением.

Калибровка (чеканка) поковок

Калибровка (чеканка) представляет собой операцию, предназначенную для повышения точности размеров и чистоты поверхности поковок. Эта операция производится с небольшими степенями деформации (менее 5—10%) на специальных кривошипно-

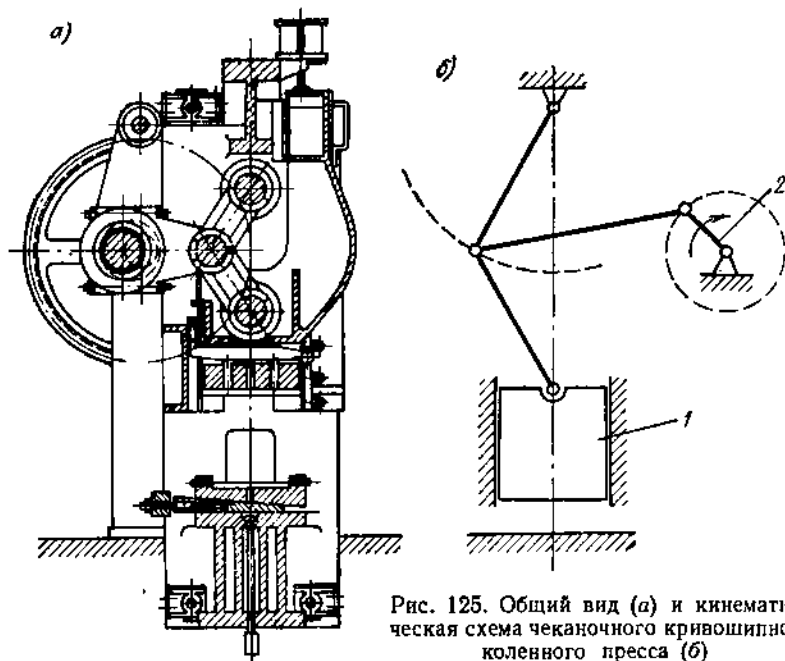


Рис. 125. Общий вид (а) и кинематическая схема чеканочного кривошипно-коленного пресса (б)

коленных чеканочных прессах. Общий вид и кинематическая схема одного из таких прессов приведены на рис. 125. Кривошипно-коленный чеканочный пресс позволяет при небольшом крутящем моменте кривошипа 2 получить значительные усилия ползуна 1 (рис. 125, б).

Калибровка поковок производится как в горячем, так и в холодном состоянии и подразделяется на плоскостную, объемную и комбинированную. Так как горячая калибровка обеспечивает меньшую точность, чем холодная, то применяется она в основном для поковок больших размеров. Точность размеров зависит от величины калибруемой площади и с ее увеличением убывает.

Наибольшее применение имеет холодная калибровка, обеспечивающая весьма высокую точность размеров и качество поверхности поковки. Обычная точность калибровки колеблется в пределах от $\pm 0,1$ до $\pm 0,25$ мм с классом чистоты поверхности $\nabla 4$ [6]. Калибровка повышенной точности обеспечивает точность в пределах от $\pm 0,05$ до $\pm 0,15$ мм. После двукратной калибровки можно получить еще более высокую точность (до 0,025 мм) с чистотой поверхности $\nabla 7$ по ГОСТу 2789—59.

Плоскостная калибровка производится для получения точных размеров между отдельными участками поковки, образованными параллельными плоскостями, как это показано на схеме, приведенной на рис. 126. При плоскостной калибровке происходит некоторая раздача поковки в перпендикулярном направлении к действующему усилию, так как течение металла в этом направлении ничем не ограничено.

Необходимыми требованиями, предъявляемыми к поковке, поступающей на калибровку, являются: повышенная точность размеров поковки и наличие у поковки припусков на калибровку.

Объемная калибровка применяется с целью повышения точности размеров и качества поверхности поковки, а также для сокращения общего веса поковки. Этот вид калибровки производится в штампах, имеющих полости, соответствующие конфигурации поковки (так же как у чистого ручья штампа). В результате объемной калибровки возможно образование небольшого облоя, который обычно удаляется на наждачном круге. Точность размеров при объемной калибровке на 30—40% ниже, чем при плоскостной. Иногда объемная калибровка производится в горячем состоянии (при температуре 700—800°); получающийся при этом облой подвергается обрезке. Такую калибровку с последующей обрезкой облоя часто называют доштамповкой и производят на молотах, кривошипных или винтовых прессах.

Комбинированная калибровка заключается в сочетании объемной и плоскостной калибровок. Вначале поковку подвергают объемной калибровке, а затем плоскостной.

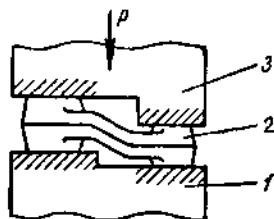


Рис. 126. Схема плоскостной калибровки:

1, 3 — нижний и верхний штампы; 2 — поковка

Усилие, потребное для калибровки, определяется по формуле

$$P = pF_n, \quad (120)$$

где F_n — площадь проекции поверхности поковки на горизонтальную плоскость в мм^2 ;

p — среднее удельное давление калибровки в кг/мм^2 (Мн/мм^2).

Удельное давление калибровки p зависит от вида калибровки, рода материала и температуры поковки. Удельное давление при плоскостной холодной калибровке малоуглеродистых сталей составляет 130—160 кг/мм^2 (1300—1600 Мн/мм^2), а при объемной — 180—220 кг/мм^2 (1800—2200 Мн/мм^2). При холодной калибровке алюминиевых сплавов удельное давление при плоскостной калибровке составляет 100—120 кг/мм^2 (1000—1200 Мн/мм^2), при объемной — 140—170 кг/мм^2 (1400—1700 Мн/мм^2).

В последнее время с целью повышения точности калибровки применяют специальные вибрационные прессы с многократными обжатиями за один ход (5—6 обжатий). Такой способ калибровки позволяет уменьшить микронеровности на 50—60% по сравнению с обычной калибровкой.

§ 43. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКОВОК

Контроль поковок разделяется на два вида: промежуточный контроль и контроль при приемке готовых поковок.

Промежуточный контроль производится мастером соответствующего участка цеха и представляет собой главным образом контроль за соблюдением технологии. На штамповочном участке мастер периодически контролирует поковки, проверяя на глаз отсутствие сдвигов, качество поверхности и качество заполнения формы штампа. После каждой операции технологического процесса изготовления поковок (штамповки, обрезки, очистки, термообработки) следует промежуточный контроль.

Контроль готовых поковок при их приемке производится представителями ОТК (Отдела технического контроля) завода, закрепленными за данным штамповочным цехом. Контроль готовых поковок производится в специальном отделении цеха и осуществляется в следующем порядке:

1) каждая поковка данной партии подвергается внешнему осмотру;

2) выборочно производится промер поковок штанген-циркулями, предельными скобами, шаблонами и т. п.;

3) выборочно производится контроль твердости поковок, а в некоторых случаях (для ответственных изделий) проверяется каждая поковка партии. Чаще всего твердость замеряется на пресах Бринеля;

4) иногда технические условия на поковку предусматривают выборочный контроль структуры поковки (м а к р о - и м и к р о -), а также контроль механических свойств; этот вид контроля производится в лаборатории завода.

Принятые ОТК завода поковки транспортируются в соответствующий механический цех. Забракованные поковки отправляются на исправление (если оно возможно) в штамповочный цех.

§ 44. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЕСТЕРЕН МЕТОДОМ НАКАТКИ

Формообразование зуба шестерни при штамповке или накатке происходит за счет пластического течения металла, вытесняемого инструментом из впадины в головку зуба. Такие шестерни обладают макроструктурой, волокна которой обтекают контуры зубьев, что способствует повышению их динамической прочности и долговечности.

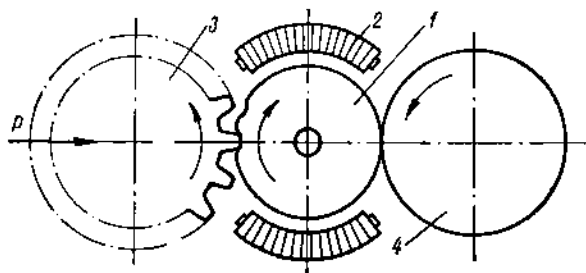


Рис. 127. Схема горячей накатки зубьев шестерен

Методом накатки зубчатые колеса изготавливаются в холодном и в горячем состоянии. В холодном состоянии возможна накатка колес с модулем до 2,5 мм, в горячем — до 10 мм и диаметром до 600 мм.

Принципиальная схема одного из способов горячей накатки зубчатых колес изображена на рис. 127. Обточенная цилиндрическая заготовка 1 помещается в накатный стан, ее венец при вращении нагревается током повышенной частоты при помощи индукторов 2. Мастер-шестерня 3 получает принудительное вращение (скорость вращения может регулироваться), а также радиальное перемещение под действием силы со стороны гидравлического цилиндра.

Благодаря радиальному усилию мастер-шестерня 3, постепенно вдавливаясь в заготовку 1, формирует на ней зубья. Ролик 4, свободно вращаясь на валу, обкатывает зубья по наружной поверхности. Скорость вращения в зависимости от накатываемого модуля колеблется в пределах 0,2—0,7 м/сек, а величина подачи мастер-шестерни — в пределах 0,4—0,6 мм/сек. Рабочий инструмент изготавливается из стали 45, 20ХН, 40ХН и 5ХНМ.

В настоящее время для накатки зубьев изготавливаются станы различной конструкции. Производительность накатки шестерен с модулем 10 составляет 20—30 шт/ч. После горячей накатки колеса подвергаются холодной обкатке профиля зуба и часто применяются без последующей обработки резанием.

Накатка шестерен в настоящее время внедрена почти на всех заводах автотракторной промышленности (ХТЗ, ЗИЛ, Челябинский тракторный з-д и др.). Для того чтобы оценить эффективность метода накатки по сравнению с методом нарезания зубчатых колес, можно привести данные работы зубонакатного полуавтомата, установленного на Минском заводе запасных частей. Производительность полуавтомата составляет 200—300 тыс. шестерен в год; при изготовлении 100 000 колес с модулем 2,5 экономится более 60 т стали, более 3 тыс. руб., а износостойкость колес повышается более чем на 20—25%. Точность накатки обычно превышает 3-й класс (по ГОСТу 1643—46). Чистота поверхности после горячей накатки соответствует 4—6-му классу, а после холодной накатки — 6—8-му классу (по ГОСТу 2789—59).

§ 45. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ШТАМПОВОЧНОГО АГРЕГАТА И ВНУТРИЦЕХОВОЙ ТРАНСПОРТ

Весьма важным фактором, влияющим на производительность, экономичность и безопасность работы штамповочных цехов, является правильная организация рабочего места штамповочного агрегата. Под организацией рабочего места понимают расположение (планировку) основного и вспомогательного оборудования, механизацию и автоматизацию процесса трудоемких работ, бесперебойную работу агрегата, удобство проведения работ и обеспечение условий техники безопасности.

В штамповочный агрегат обычно входят: нагревательное устройство, основная машина (молот, пресс, ГKM), обрезающий пресс. Иногда может быть две основные машины. Очень часто для проведения заготовительных операций помимо основной устанавливается вспомогательная машина, например ковочные вальцы, ГKM и др. Иногда в штамповочный агрегат входит правочный молот. В тех случаях, когда изготавливаются небольшие поковки или производится безоблойная штамповка, обрезающий пресс в агрегат не входит; обрезка или прошивка пленок производится на специальном обрезающем участке цеха. Оборудование, входящее в штамповочный агрегат, расставляется по соответствующим нормативам из расчета удобства его обслуживания и безопасности работы. Для этой цели оно должно отстоять друг от друга на определенном расстоянии и в определенном порядке с учетом очередности проведения операций технологического процесса штамповки.

При штамповке на молотах нагревательное устройство обычно располагается слева от кузнеца; при работе на прессах оно может

быть установлено и справа, и слева, а при штамповке на горизонтально-ковочных машинах оно устанавливается справа. Оборудование, входящее в состав штамповочного агрегата, расставляется вдоль пролета цеха в соответствии с учетом его мощности. Передача заготовки или полуфабриката между машинами штамповочного агрегата производится различными способами в зависимости от рода машины, веса поковки и вида заготовки.

Тяжелые заготовки (для молотов 10—15 т) могут передаваться с помощью подвесных манипуляторов или монорельса, или при помощи легких лебедок. Манипулятор или лебедка осуществляют загрузку холодных заготовок в печь, подачу нагретых заготовок из печи к молоту, укладку готовых поковок на стеллажи и т. п. Монорельс обычно подвешивается вдоль рабочего места; на нем имеются подвесные захваты, при помощи которых с заготовкой осуществляются те же операции.

Для передачи мелких заготовок и поковок от одного устройства к другому служат траковые и пластинчатые транспортеры, склизы (наклонные желоба), поворотные столики и др. Внутрицеховая транспортировка мерных заготовок, готовой продукции и отходов (облоя, пленок) осуществляется в стальных ящиках при помощи электро- и автокаров и мостовых кранов. Транспортировка прутковых заготовок производится только мостовыми кранами. В некоторых случаях для транспортировки заготовок, поковок и отходов применяются специальные конвейеры.

Пример организации рабочего места при штамповке на прессе с ковочными вальцами и на молоте в условиях крупносерийного и массового производства показан на рис. 128. На участок А мерные заготовки доставляются в стальном ящике 1 и нагревательном укладываются на загрузочную площадку полуметодической толкательной печи 2. Нагретые заготовки при помощи тракового транспортера 3 подаются на столик 4. После штамповки на однотонном паровоздушном молоте 5 в многоручьевом штампе поковка сталкивается по склизу 6 на транспортер 7 и подается на столик 8 к обрезному прессу 9. На обрезном прессе 9 производится обрезка облоя, который укладывается в ящик 10, а поковка по склизу попадает в тару 11. Вентилятор 12 служит для притока свежего воздуха на рабочее место. Тара с поковками и обломом периодически увозится или мостовым краном, или электрокарой.

На участок Б мерные заготовки также привозятся в ящике 1, вручную загружаются в бункер методического индукционного нагревателя 2. Нагретая заготовка выталкивается из нагревателя и траковым или цепным транспортером 3 доставляется на столик ковочных вальцов 4, на которых она фасонируется, и транспортером 5 через окно станины подается на стол кривошипного горячештамповочного пресса 6 усилием 1000 т (10 Мн). После штамповки в двухручьевом штампе штамповщик помещает поковку на склиз 7, установленный в другом окне станины, по которому

она попадет на транспортер 8 и доставляется к обрезающему прессу 9. Обрезанные поковки сталкиваются по склизу в тару 11, а облой укладывается в тару 10.

На участке *Б* индукционный нагреватель и ковочные вальцы обслуживаются одним рабочим. Таким образом, на участке *Б* бригадой, состоящей из трех рабочих, обслуживается четыре машины, а на участке *А* — три машины. При однитильных поковках производительность участка *Б* больше, чем производительность участка *А*.

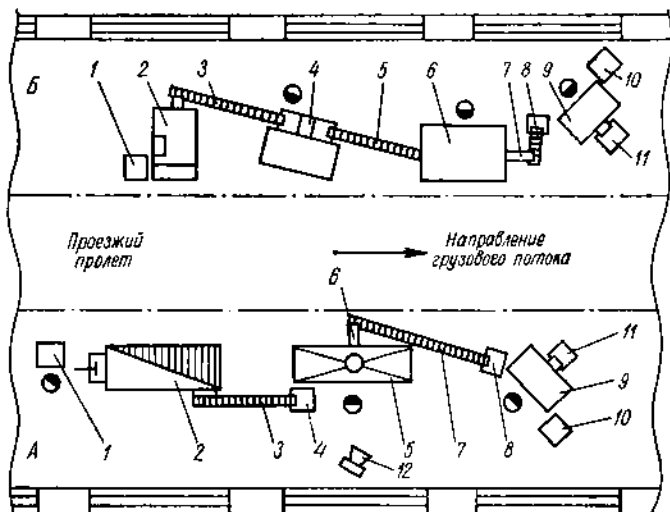


Рис. 128. Организация рабочего места при штамповке. *А* — участок штамповки на молоте; *Б* — участок штамповки на прессе

Квалификация рабочих, обслуживающих штамповочные участки распределяется приблизительно следующим образом: штамповщик имеет 4—5-й разряд, нагревальщик — 3—4-й разряд, обрезчик — 3—4-й разряд.

В последнее время на ряде заводов совместно с учебными и исследовательскими институтами проводятся работы по автоматизации штамповки на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. Создание штамповочных автоматов позволит значительно повысить производительность за счет использования каждого рабочего хода машины.

§ 46. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

Несмотря на то, что свыше 20 вес. % всех деталей машин изготавливается из горячештампованных поковок, механизация и автоматизация цехов горячей штамповки все еще находится на

более низком уровне, чем механических цехов. Наиболее трудоемкими операциями для механизации являются операции подачи и укладки заготовки в ручей штампа, переноса ее из ручья в ручей, удаления поковок из ручьев, передача полуфабриката от одной машины к другой и т. п.

Большинство созданных устройств [1] для механизации и автоматизации штамповочных работ из-за большого разнообразия по конфигурации и весу изделий, изготавливаемых на той или иной машине, не являются универсальными. Однако, несмотря на большие трудности в этом вопросе имеется значительное количество установок, успешно эксплуатирующихся на заводах. На ряде заводов работают механизмы для подачи и резки прутков на прессножницах, хладноломах и кривошипных прессах. В значительной мере механизированы операции нагрева заготовок, подачи и загрузки их в нагревательные устройства, подачи их к кузнечным машинам.

Сложным вопросом на сегодняшний день остается вопрос комплексной механизации и автоматизации, однако и в этом вопросе имеются значительные успехи [1].

Механизация и автоматизация штамповки на молотах

Так как до последнего времени основным оборудованием горячештамповочных цехов являются молоты, то механизация штамповки на них представляет весьма актуальную проблему. Наряду с широко применяющимися средствами механизации — транспортерами, скатами, склизми, поворотными столами, пневматическими подавателями — созданы другие механизмы, позволяющие осуществлять комплексную механизацию. К числу оригинальных новых механизмов относятся: механические кантователи — полуавтоматы, позволяющие производить работу в многолучевом штампе, механические укладыватели заготовок на ручей штампа, механические съемники поковок и облоя с обрезных прессов и др.

Примером может служить созданная на Челябинском тракторном заводе механизированная поточная линия для штамповки звена гусеницы. Внедрение этой линии с комплексной механизацией позволило увеличить годовой выпуск продукции на одного рабочего с 28 до 446 т.

Заслуживает особого внимания вопрос программного управления штамповочными молотами, позволяющий автоматизировать штамповку на молотах. В Советском Союзе имеются примеры создания опытных установок программного управления паровоздушными и фрикционными штамповочными молотами, обеспечивающими условия штамповки по заданному технологическому режиму [1].

Механизация и автоматизация штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах

Отличие кривошипных горячештамповочных прессов от молотов, заключающееся в постоянстве хода ползуна, безударном характере нагрузки и наличии боковых окон в станине пресса, позволяет легче механизировать и автоматизировать процессы штамповки. Устройства для механизации и автоматизации устанавливаются на столе пресса, в боковых окнах станины (см. рис. 104) и могут приводиться в действие либо от коленчатого вала пресса, либо от его ползуна. Существует большое разнообразие устройств для автоматической подачи заготовок в штамп, для передачи поковок из ручья в ручей и удаления поковки. К числу устройств для подачи заготовки в ручей относятся различного рода мембранно-пневматические, шиберные и кулисно-рычажные подаватели. Наиболее трудоемким процессом для механизации является процесс передачи поковки из ручья в ручей. Устройства, механизрующие этот процесс, — перекладчики бывают различного типа: одноклещевые, двухклещевые и др. [1].

Одноклещевой перекладчик обеспечивает передачу поковки из чернового ручья в чистовой. Удаление готовой поковки, вытолкнутой из чистового ручья, производится с помощью сжатого воздуха (поковка сдувается со штампа в отводной лоток).

Двухклещевой перекладчик осуществляет одновременную передачу заготовки из чернового ручья в чистовой и удаление готовой поковки из чистового ручья в сбрасывающую трубу. Конструкция такого перекладчика разработана и внедрена на Московском заводе малолитражных автомобилей (МЗМА) для штамповки клапанов выдавливанием на прессе усилием 500 т (5,0 Мн) и обеспечивает производительность 4500—5000 клапанов в смену.

Механизмами, осуществляющими более сложные движения по сравнению с перекладчиками являются *манипуляторы*, которые производят подачу заготовок на штамп, последовательную передачу заготовки из ручья в ручей и удаление поковки на транспортер. Имеется конструкция указанного манипулятора с программным управлением, разработанная ЦБКМ.

Примером применения механизмирующих устройств может служить автоматическая линия для штамповки поковок автомобильных и тракторных бортовых шестерен весом от 35 до 60 кг и диаметром от 400 до 450 мм — рис. 129. Технологический цикл изготовления указанных поковок состоит из предварительного нагрева и резки заготовок, накопления заготовок, индукционного нагрева, штамповки, обрезки облоя и прошивки пленки, правки, термообработки поковок и их очистки [1].

Заготовки в виде штанг с наклонного стеллажа под действием собственного веса перекачиваются по наклонным направляющим через электрическую печь сопротивления I , где нагреваются

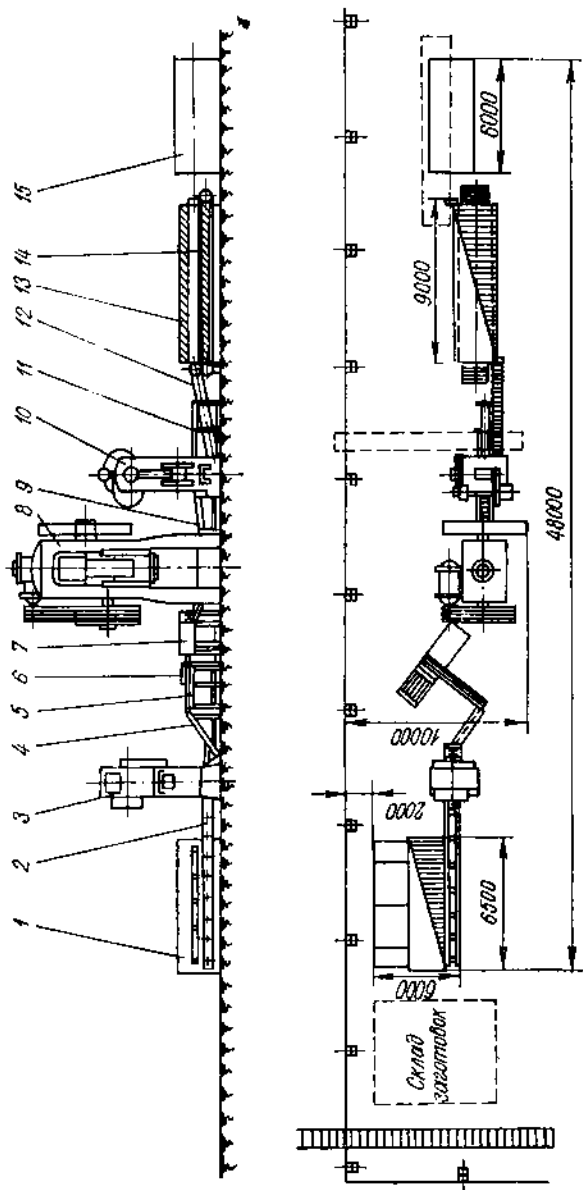


Рис. 129. Автоматизированная линия штамповки бортовых шестерен

до 400—500° и пневмоцилиндром подаются на рольганг 2. По рольгангу штаंगा подается к пресс-ножницам 3 усилием 1000 т (10 Мн). Нарезанные заготовки цепным транспортером 4 подаются в поворотный лоток, из которого они в ориентированном виде с помощью пневмоцилиндра укладываются в накопитель 5. Из накопителя заготовки по склизу скатываются в каретку 6, которая через определенные промежутки времени устанавливается перед направляющим лотком индукционного трехручьевого нагревателя 7. Заготовки продвигаются по этому лотку и специальными фиксаторами останавливаются против соответствующего ручья нагревателя. С помощью пневмоцилиндра заготовки последовательно загружаются в методические ручки (в каждом одновременно находится по четыре заготовки).

Нагретые до заданной температуры заготовки по склизу в ориентированном виде попадают к смонтированному в окне пресса 8 манипулятору, который осуществляет прием заготовок, поворот и установку их в вертикальное положение, подъем до плоскости штампов и перемещение сначала к осадочному, а затем к чистовому ручью.

Готовая поковка уборочным механизмом подается на транспортер 9, доставляющий ее к механизму укладки в обрезной комбинированный штамп пресса 10 усилием 630 т (6,3 Мн). В комбинированном штампе производится обрезка облоя, прошивка пленки и одновременно правка.

Затем поковка сталкивается с обрезного штампа и по склизу попадает на транспортер 12, доставляющий ее на конвейер 14 нормализационной печи 13. Облой и пленка убираются со штампа магнитным механизмом 11. Конвейер 14 печи доставляет поковки в лоток, откуда они забираются крюками подвесного конвейера и попадают для очистки в дробеметную установку 15. После очистки поковки передаются на межцеховой конвейер для транспортировки их в механический цех. Производительность линии составляет 106 поковок в час. Обслуживание и наблюдение за линией производится одним оператором.

Механизация и автоматизация штамповки на ГҚМ

Механизация и автоматизация штамповки на горизонтально-ковочных машинах, в особенности на машинах с вертикальным разъемом штампов, требует устройств, осуществляющих весьма сложный комплекс движений заготовки в горизонтальном и вертикальном направлениях (вперед, вправо, влево, вниз, вверх). В связи с этим в настоящее время механизация штамповки ограничивается главным образом применением различных подъемных столов и противовесов. Применение этих устройств не исключает ручных операций штамповщика. Для полной механизации и автоматизации ГҚМ наиболее оправдывают себя манипуляторы со

встроенным в них индуктором и перемещающиеся вместе с заготовкой. Имеется несколько конструкций таких манипуляторов. Для полной автоматизации одноручевой штамповки на ГKM применяются различные устройства, обеспечивающие подачу прутковой заготовки через индукционный нагреватель в ручей штампа [1].

§ 47. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ В КУЗНЕЧНЫХ И ГОРЯЧЕШТАМПОВЧНЫХ ЦЕХАХ

Техника безопасности охватывает мероприятия двоякого рода: во-первых, обеспечение нормальных условий труда с целью снижения, например температуры в цехе, удаления газов, пыли и т. п., оказывающих вредное влияние на здоровье рабочего; во-вторых, обеспечение безопасной работы с целью исключения травматизма. Таким образом, при проведении мероприятий по технике безопасности требуется разрешить целый комплекс вопросов — конструкторских, технологических и санитарно-гигиенических, влияющих на трудовую деятельность человека.

Работающие в цехах горячей обработки металлов давлением подвергаются воздействию лучистого тепла от печей и особенно от нагретого обрабатываемого металла. Кроме того, в этих цехах нередко происходит загрязнение воздуха продуктами неполного сгорания топлива, дымом, копотью и пр. Для нормальной работы в этих цехах совершенно необходим постоянный приток свежего воздуха. Для этой цели в цехах широко используется естественная и механическая вентиляция. В цехе должна быть устроена общая обменная и местная вентиляция. Максимальная температура воздуха в рабочей зоне в летние жаркие месяцы не должна превышать 30°.

Для уменьшения тепловыделения окна нагревательных устройств (печей), закрывающиеся заслонками, должны быть оборудованы водяной завесой. Часто в кузнечно-прессовых цехах устанавливаются специальные души, увлажняющие воздух цеха. В цехах должна быть достаточная освещенность.

Для создания полной электробезопасности все токонесущие части должны быть ограждены, заземления машин должны быть выполнены особо тщательно, учитывая специфику работы кузнечных машин, создающих колебания почвы.

Основной рабочий инструмент (матрицы для прессования, контейнеры, штампы и т. п.) должны тщательно проверяться и ни в коем случае не должен иметь трещин возникновение поломки. Вспомогательный инструмент, как, например, клещи и другие приспособления для удерживания горячего металла, должны быть надежными и снабжены замками.

Большое разнообразие конструкций кузнечных машин создает значительные трудности для конструирования устройств,

предохраняющих от травм. Например, при штамповке на кривошипных прессах для предупреждения поломки их частей предусматриваются предохранительные устройства в виде срезающихся шпонок, стержней и т. п. или устанавливаются фрикционные и гидравлические предохранители, срабатывающие при превышении допускаемых нагрузок. Прессы должны быть оснащены защитными устройствами, предохраняющими рабочего от неожиданного опускания ползуна.

При работе на молотах надо всегда иметь в виду, что динамическая нагрузка на рабочие части молота и инструмент предъявляет повышенные требования к безопасности работы. Все соединительные элементы молота должны надежно закрепляться, в противном случае возможно вылетание некоторых частей, например клиньев. Во время работы необходимо периодически проверять крепление бабы со штоком, крепление штампов, плотность сальников и т. п. Задняя сторона паровоздушных молотов должна быть ограждена стальными щитами.

При работе на фрикционных молотах особо тщательно требуется следить за креплением доски с бабой и своевременно заменять изношенную доску.

При работе на гидравлических и парогидравлических прессах используются высокие давления воды $250\text{--}600\text{ ат.}$ ($0,25 \cdot 10^5 \div \div 0,6 \cdot 10^5\text{ кн/м}^2$). Для того чтобы не произошло разрыва труб от гидравлических ударов, необходима установка специальных компенсаторов. Гидравлические цилиндры прессов должны снабжаться предохранительными клапанами для спуска воздуха. Водораспределительные клапаны должны быть всегда исправны.

Сети гидропередат. и паропередат., трубопроводы, рабочие гидравлические цилиндры, отдельные части траверсы, штампы и все приспособления должны соответствовать мощности пресса. Механизмы манипулятора и загрузочных машин должны быть надежно заземлены. Все трубопроводы и сосуды, подвергающиеся действию высокого давления, должны периодически испытываться.

При работе на фрикционных прессах необходимо контролировать механизмы пуска и тормоза пресса. Ременные передачи должны быть ограждены. Несмотря на то что пресс может развивать давления, значительно превышающие номинальное (вследствие избыточной энергии вращающихся масс), нельзя допускать его работу на перегрузках.

При работе на горизонтально-ковочных машинах перед работой прежде всего необходимо проверять правильность и надежность крепления матриц и пуансонов, так как при их взаимной несоосности может произойти поломка машины. Необходима проверка пусковых, тормозных и предохранительных устройств. Когда при штамповке на ГКМ в качестве исходной заготовки применяются тяжелые прутки, то их перемещение из ручья в ручей должно быть механизировано.

При работе на кривошипных (обрезных) прессах особое внимание следует уделять правильной наладке обрезных штампов. Не следует придерживать поковку клещами за облой в момент обрезки. Прежде чем пустить пресс, необходимо убедиться в правильности укладки поковки в матрицу. Ни в коем случае не разрешается подправлять положение неправильно уложенной поковки на ходу пресса.

В кузнечно-прессовом производстве внутри цеха широко используется механизированный транспорт. Все пути, где происходит перемещение наземного транспорта, должны быть замощены. Рельсовые пути утапливаются в пол и не должны выступать выше его уровня. Проезды не должны загромождаться. В цехах должна широко применяться пропаганда мероприятий по технике безопасности в виде инструктажа, лекций и наглядных пособий.

Глава VIII

ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

Листовая штамповка, являясь одним из наиболее прогрессивных методов получения изделий из листовых материалов, имеет весьма широкое применение во всех отраслях машино-, приборостроительной и металлообрабатывающей промышленности.

Листовую штамповку в зависимости от толщины листа (заготовки) условно делят на тонколистовую ($s < 4$ мм) и толстолистовую. Листовой металл толщиной свыше 15—20 мм обычно штампуют в горячем виде (с нагревом до соответствующей температуры для заданного металла). В горячем состоянии приходится также штамповать и менее толстые материалы (3—6 мм) из хромистых сталей, с подогревом фланца — из малопластичных сплавов цветных металлов (МА1, МА8); с подогревом штампуют детали из титана и его сплавов. Во всех остальных случаях штамповка деталей из листового материала производится в холодном состоянии.

В зависимости от способа действия внешних сил и характера напряженно-деформированного состояния операции листовой штамповки делят на разъединительные (разделительные), формоизменяющие, прессовочные, комбинированные и штамповсборочные.

К разъединительным (разделительным) операциям, связанным с отделением одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, относятся следующие: отрезка, вырубка—вырезка, пробивка, надрезка, разрезка, обрезка, зачистка и просечка.

К формоизменяющим операциям, заключающимся в превращении плоской или полой заготовки в пространственную деталь требуемой формы без изменения (средней) толщины материала, относятся следующие: гибка и закатка края, вытяжка, правка, рельефная штамповка, отбортовка, формовка, обжим и раздача, а также вытяжка с утонением материала стенок.

К прессовочным операциям, связанным с изменением толщины листового материала, относятся: чеканка, клеймение — маркировка, разметка — кернение и холодное выдавливание.

Комбинированная холодная штамповка представляет собой совмещение в одной объединенной операции двух или нескольких технологически различных отдельных операций штамповки, на-

пример: отрезки и гибки, вырубки и вытяжки, вытяжки и рельефной штамповки и других технологически возможных комбинаций.

Штампо-сборочные операции, предназначенные для соединения нескольких деталей в одно изделие (узел), основаны на применении процессов гибки, запрессовки, клепки, закатки, фальцовки, холодной пластической сварки и др.

Штамповке подвергаются различные листовые материалы: малоуглеродистая сталь, низколегированные стали, медь, латунь, никель, алюминий, дуралюмин, магниевые сплавы, титан и его сплавы, электрон и др. Штампуются и неметаллические материалы: бумага, картон, гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, органическое стекло, кожа, резина, целлулоид, асбест и др.

Исходные заготовки бывают в виде листов и лент, свернутых в рулоны. Неметаллические материалы обычно бывают только в виде листов.

Для выявления пригодности материалов к штамповке и последующей их эксплуатации они подвергаются соответствующим испытаниям. Наиболее распространенными являются испытание на растяжение (предел текучести, временное сопротивление разрыву, модуль упругости, относительное удлинение и относительное сужение) и технологические пробы: испытание на срез (для установления сопротивления срезу), испытания на перегиб и на глубину вытяжки (испытания на пригодность для гибочных и вытяжных работ). Указанные испытания производят на универсальных и специальных разрывных машинах и приборах типа Эриксона, ПТЛ-10, МТЛ-10Г, ЦНИИТмаш и др. [18; 19; 42].

§ 48. РЕЗКА

Резка листового металла ножницами

В штамповочных цехах для вырубки различных деталей применяются плоские заготовки в виде листов и лент. Поступающие листы и ленты сообразно с размерами штампуемой детали нарезают на полосы — заготовки различной ширины. Резку листового металла производят на ножницах или на прессах при помощи отрезных штампов.

В заготовительных отделениях штамповочных цехов для резки материала чаще всего применяются ножницы следующих трех типов: с параллельными ножами; с наклонными ножами (гильотинные) и дисковые (роликовые). Иногда применяются и вибрационные (просечные) ножницы.

Ножницы с параллельными ножами обычно служат для резки сравнительно узких и толстых полос (рис. 130), а также для резки неметаллических материалов (гетинакса, текстолита и др.).

Ножницы с наклонными ножами (гильотинные) применяются для разрезки листа на полосы, являющиеся заготовками для

вырубки из них различных деталей на штампах. Общий вид ножниц приведен на рис. 131.

Особенностью гильотинных ножниц является то, что при их работе одновременной резке подвергается не вся ширина листа 4, как при резке ножницами с параллельными ножами, а только определенная его часть, являющаяся постоянной величиной для дан-

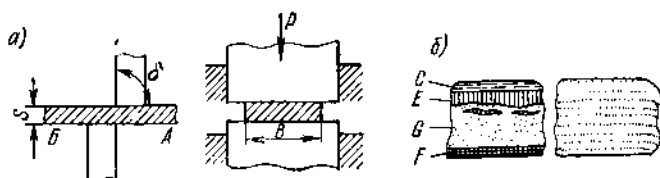


Рис. 130. Схема резки металла ножницами с параллельными ножами и деформации металла при резке: а — схема резки; б — деформация металла при резке:

С — зона закругления; Е — зона среза; G — зона скалывания; F — зона смятия от нижней опоры ножа

ного угла наклона верхнего ножа 1 к нижнему 2 и для данного типа ножниц. Поэтому усилие резки на большей части хода (перемещения) верхнего наклонного ножа остается постоянным и не зависит от ширины листа. Усилие резки на ножницах с верхним

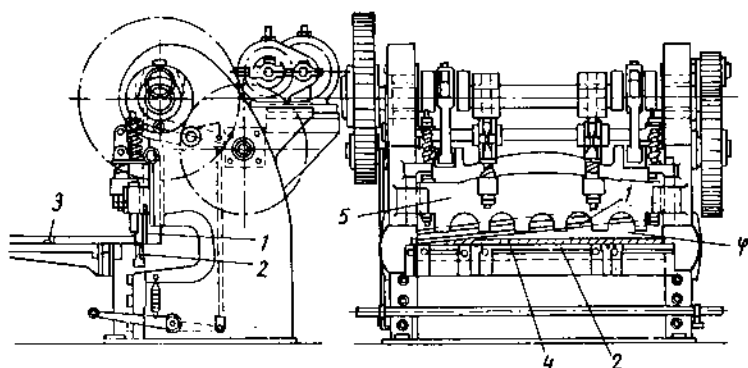


Рис. 131. Общий вид ножниц с наклонными ножами

наклонным ножом во много раз меньше усилия, потребного для разрезки того же материала на ножницах с параллельными ножами.

На гильотинных ножницах имеются переставляющиеся передние 3 и задние упоры (на рисунке не показаны), служащие для резки полос разной ширины. Недостатком ножниц с наклонными ножами является то, что во время резки полосы несколько изгибаются. Во избежание выскальзывания листа во время резки

из-под ножей ножницы имеют механические 5 или пневматические прижимы. С этой же целью, а также для уменьшения изгиба полосы при резке угол наклона верхнего ножа φ делают меньше 9° ($\frac{1}{20} \pi \text{ рад}$). На гильотинных ножницах в холодном виде можно резать материал толщиной до 42 мм и длиной реза (шириной листа) до 4500 мм. Однако и это не предел. В зависимости от толщины листа угол наклона ножей φ берут от 2 до 6° ($\frac{1}{90} \div \frac{1}{30} \pi \text{ рад}$), число ходов в минуту соответственно составляет от 75 до 15.

Усилие, потребное для отрезки на ножницах с параллельными режущими кромками, в $\kappa\Gamma$ (н) определяют по формуле

$$P = kF_0\tau_0 = kBst_0, \quad (121)$$

а усилие, потребное для отрезки на гильотинных ножницах,—по формуле

$$P = k \frac{0,5s^2\tau_0}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (122)$$

Здесь

F_0 — площадь среза в мм^2 (м^2);

τ_0 — сопротивление срезу (вырубке) в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ ($\text{Мн}/\text{м}^2$);

B — длина линии отрезки (ширина листа) в мм;

s — толщина материала (листа) в мм;

φ — угол наклона (скоса) верхнего ножа в град;

k — коэффициент, учитывающий влияние различных факторов, которые могут иметь место в производственных условиях (см. ниже формулу (125)). На основании опытных данных автора значения k можно принять 1,0—1,3.

Дисковые (роликовые) ножницы применяются для продольной резки листов и лент. В этом случае процесс резки осуществляется вращающимися круглыми ножами. Разрезаемый материал передвигается за счет трения металла о ножи. В серийном производстве применяют однопарные дисковые ножницы, а в массовом — многопарные дисковые ножницы, которые одновременно разрезают лист или ленту на несколько полос.

Ножи параллельных, наклонных и дисковых ножниц изготавливаются из стали марок У8А, 4Х, 6ХС, 5ХВ2С и Х12М (для тонких листов). Твердость ножей после закалки должна быть в пределах HRC 54—60.

Резка (вырубка) листового металла штампами

Резка (вырубка) штампами представляет собой процесс отделения одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру при помощи штампов на механических или гидравлических прессах. В штампах в отличие от ножниц роль верхнего перемещающегося режущего ножа выполняет пуансон 2,

а нижнего, неподвижного — матрица 4 (рис. 132). При этом пуансон вырубного (пробивного) штампа имеет, как правило, меньшие размеры, чем матрица, образуя так называемый зазор — просвет.

Характеристика операций группы резки (вырубки) штампами. В зависимости от назначения и характера выполняемой работы операции группы резки делят на следующие (рис. 133):

1) отрезка — полное отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру по прямой или кривой линии; эта операция производится на отрезном штампе из мерной полосы или ленты без боковых отходов (рис. 133, а);

2) вырубка (вырезка) — полное отделение металла по замкнутому контуру, причем отделяемая часть, проходящая через матрицу, является изделием, а оставшаяся часть — заготовкой или отходом (рис. 133, б);

3) пробивка — полное отделение металла внутри заготовки (изделия) по замкнутому контуру (отверстию), при этом вырезанная часть является отходом, а оставшаяся часть — изделием (рис. 133, в);

4) надрезка — частичное отделение металла по незамкнутому контуру без удаления отходов (рис. 133, г);

5) разрезка — разделение плоских, гнутых или полых заготовок на две или несколько отдельных деталей (рис. 133, д);

6) обрезка — удаление неровного края или лишнего металла снаружи плоских, гнутых или вытянутых изделий (рис. 133, е);

7) зачистка — обрезка заранее предусмотренного припуска на плоских деталях, с целью получения точных размеров, острых кромок и гладкой перпендикулярной поверхности среза (рис. 133, ж); если зачистка производится одновременно с вырубкой (пробивкой) из полосы (детали) одними и теми же матрицей и пуансоном, то эту операцию называют чистой вырубкой или пробивкой;

8) просечка — отделение листовых неметаллических материалов по замкнутому контуру при помощи просечных — ножевых штампов, т. е. трубчатыми стальными пуансонами без применения стальной матрицы; роль последней выполняет пластина из неметаллических материалов (фибра, дерево) — рис. 133, з.

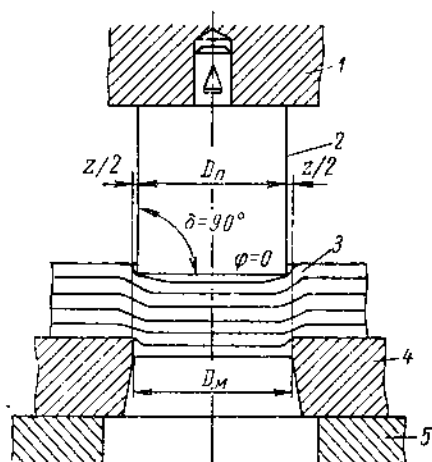


Рис. 132. Схема вырубки металла штампами:

1 — ползуны пресса; 2 — пуансон; 3 — материал; 4 — матрица; 5 — стол пресса

Указанные операции с целью увеличения производительности можно объединить либо по принципу последовательной штамповки, когда деталь получается из полосы отдельными пуансонами за несколько ходов пресса, либо по принципу совмещенной штамповки, когда деталь получается за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе.

Первый способ объединения операций называют **последовательной штамповкой — вырубкой**, второй — **совмещенной вырубкой**.

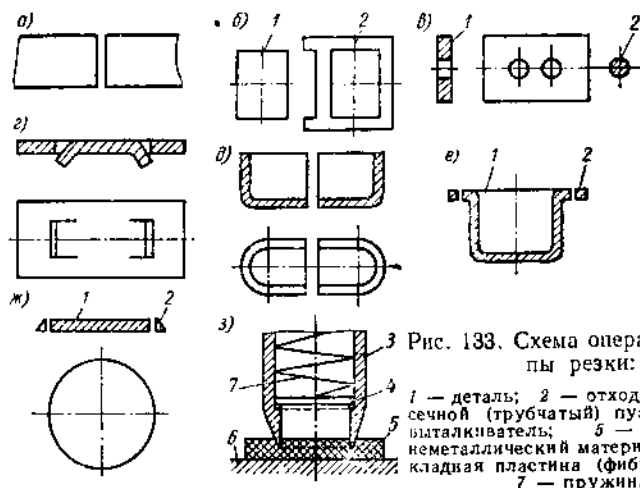


Рис. 133. Схема операции группы резки:

1 — деталь; 2 — отход; 3 — продольной (трубчатый) пуансон; 4 — выталкиватель; 5 — вырезаемый неметаллический материал; 6 — подкладная пластина (фибра, дерево); 7 — пружина

По характеру деформации вышеуказанные операции группы резки (кроме зачистки и просечки) ничем не отличаются друг от друга.

Процесс резки (вырубки). Этот процесс можно представить следующим образом. Пуансон вначале производит сжатие и упругий прогиб материала; вблизи режущих кромок пуансона и матрицы создается концентрация напряжений, что, в свою очередь, вызывает течение металла и образование зоны смятия в виде прямой или кольцевой (при вырубке круглых деталей) полоски у режущих кромок штампа.

При дальнейшем углублении пуансона в металл с появлением пластической деформации металл оказывает сопротивление, равное пластическому сдвигу в данный момент вырубки. При наличии большого зазора между матрицей и пуансоном (более 18—20% от толщины материала на обе стороны), особенно при пластичных металлах, дальнейшее протекание пластического сдвига сопровождается изгибом и растяжением волокон с последующим перерыванием их (появлением складывающихся трещин). В тот момент, когда давление пуансона будет соответствовать сопротивлению

срезыванию (скалыванию), происходит разьединение металла. Для окончательного удаления вырубленной детали из заготовки необходимо преодолеть сопротивление трению, возникающему между поверхностями среза взаимно смещенных частей металла, а также между материалом и рабочими частями штампа.

Отметим, что в случае вырубки деталей из мягкого и тонкого металла ($s < 2 \text{ мм}$) глубина проникновения пуансона в металл до начала его разрушения (появления скалывающих трещин) i_m

(рис. 134, а) большая, доходит до 70—75% от его толщины; у наклепанных и хрупких металлов, наоборот, глубина проникновения небольшая, составляет 15—20% от толщины. В последнем случае изгиб и растяжение волокон в процессе вырубки почти не наблюдается. Глубина проникновения пуансона в металл при полном разделении i_k будет на 10—20% больше i_m .

Усилие при резке (вырубке).

Потребное усилие при вырубке штампами, так же как и при резке ножницами, зависит от формы пуансона и матрицы, которые могут быть плоские (параллельные) или скошенные (наклонные) режущие кромки.

Рис. 134. Последовательность процесса вырезки (а) и характер поверхности среза при нормальном зазоре (б), при малом (в) и при очень большом (г)

У штампов с параллельными режущими кромками угол наклона (скоса) $\varphi = 0$, а угол резания $\delta = 90^\circ - \frac{\pi}{2} \text{ рад}$ (рис. 132).

Усилие вырубки (теоретически-расчетное) P_0 в $\kappa\Gamma$ (н) в этом случае определяют по формуле

$$P_0 = F_0 \tau_0 = u s \tau_0, \quad (123)$$

где F_0 — площадь среза (вырубки) в мм^2 (м^2);

u — длина контура (периметр) вырубаемой детали в мм ;

s — толщина материала в мм ;

τ_0 — сопротивление вырубке в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ ($\text{Мн}/\text{м}^2$) (полученное в лабораторных условиях).

Значение τ_0 ниже временного сопротивления разрыву σ_s и составляет в зависимости от рода и толщины материала (0,60÷0,90) σ_s . Обычно берут его равным (0,80÷0,86) σ_s .

На сопротивление металла вырубке оказывает влияние ряд факторов: механические свойства металла, толщина материала s ,

форма и размеры вырубаемого контура детали, величина зазора между матрицей и пуансоном z , форма проходного отверстия матрицы, скорость деформации, смазка материала и инструмента, состояние режущих кромок штампа и их твердость.

В производственных условиях благодаря наличию этих факторов действительное сопротивление срезу (вырубке) τ_d и действительное — расчетное усилие вырубке P (P_d) с учетом влияния вышеприведенных факторов будут выше значений τ_0 и P_0 , получаемых в лабораториях опытным путем. Это превышение учитывается общим коэффициентом k , равным 1,0—1,3.

Тогда действительное сопротивление срезу (вырубке) τ_d определится из выражения

$$\tau_d = k\tau_0 = (1,0 \div 1,3) \tau_0, \quad (124)$$

а действительное усилие вырубке P_d в кГ (н) из зависимости

$$P_d = P = u\tau_d = k u\tau_0 = (1,0 \div 1,3) u\tau_0. \quad (125)$$

Для облегчения условий резания, обеспечения плавной работы прессы и уменьшения потребного усилия вырубке применяют штампы с наклонными (скошенными) режущими кромками пуансона или матрицы. Этими штампами приходится пользоваться тогда, когда расчетное усилие в случае применения штампов с параллельными режущими кромками превышает усилие — давление, допускаемое прессом. Благодаря наличию скоса режущих кромок на пуансоне или на матрице вырубка происходит не одновременно по всему контуру, а постепенно, по мере опускания пуансона. Поэтому усилие вырубке, так же как и при резке пожницами с наклонными ножами, будет значительно меньше, чем при вырубке штампами с параллельными режущими кромками.

Усилие вырубке определяют исходя из условия, что в данном случае срезается не весь периметр вырубаемой детали, а только небольшая длина линии среза в отдельные моменты вырубке.

Величину скоса H берут в зависимости от толщины материала s . Для материалов толщиной до 3 мм $H = (3 \div 2) s$; $\varphi = 5 \div 2^\circ \left(\frac{1}{36} \div \frac{1}{90} \pi \text{ рад} \right)$. Для материалов толщиной свыше 3—4 мм $H = (2 \div 1) s$, $\varphi = 8 \div 5^\circ \left(\frac{2}{45} \div \frac{1}{36} \pi \text{ рад} \right)$. В зависимости от φ усилие вырубке соответственно снижается на 30—65%. Скос рекомендуется делать двухсторонним и симметричным относительно оси штампа, так как в противном случае возникают боковые усилия, которые часто приводят к «зарубанию» режущих кромок штампа.

Скосы режущих кромок могут выполняться как на пуансоне, так и на матрице. При вырубке деталей пуансон должен быть плоским, а скос делается на матрице. В этом случае деталь также

будет плоской, а отход (полоса) изогнутым. При пробивке отверстия матрица должна быть плоской; скос ее делается на пуансоне. Тогда деталь остается плоской, а отход, выталкиваемый из матрицы, изгибается.

Зазоры между матрицей и пуансоном. Под технологическим зазором понимается разность рабочих размеров матрицы и пуансона вырубного штампа (см. рис. 132). Зазоры имеют решающее значение в процессе резания — вырубки металла штампами. Они оказывают сильное влияние на величину потребного усилия и работу вырубки, качество поверхности среза, точность получаемой детали, износ и стойкость штампа.

Для каждого материала и толщины имеются свои оптимальные зазоры, при которых сопротивление вырубке, а значит и общее усилие вырубки будет наименьшим. При этих зазорах получается наиболее удовлетворительная форма поверхности среза и близкое совпадение размеров вырабатываемой детали с размерами матрицы и пробиваемого отверстия с размерами пуансона.

На рис. 134 показана поверхность среза вырубленной детали при нормальном (б), малом (в) и большем зазоре (а) [42; 19].

Опытами установлено, что наиболее высокая стойкость штампа также получается при нормальных зазорах. Так как на практике решающее значение имеет вопрос получения качественной поверхности среза, которая достигается в некотором интервале зазоров, величины зазоров задают при минимальном и максимальном значениях их z_{\min} и z_{\max} .

Зазоры выбирают в зависимости от рода и толщины штампуемого материала, а также от режима работы пресса (числа двойных ходов ползуна в минуту n).

При нормальном режиме работы пресса ($n < 140$ об/мин) для материалов толщиной $s = 0,5 \div 10$ мм минимальные величины двусторонних или диаметральных зазоров z_{\min} составляют от 4 до 10% от s , максимальные z_{\max} от 6 до 16% от s [41; 19].

При работе на повышенных скоростях ($n > 140$ об/мин), которые применяются при штамповке мелких деталей во избежание «заедания» пуансона в матрице вследствие нагрева инструмента зазоры должны быть в 1,5—2,0 раза больше нормальных. Для малоуглеродистой стали толщиной до 2 мм зазор в этом случае берут равным 15—20% от толщины материала. При вырезке различных неметаллических материалов величины зазоров составляют $(0,02 \div 0,05) s$.

Направление зазора устанавливается по такому правилу. При вырубке наружного контура зазор z получается за счет уменьшения размеров пуансона D_n против номинальных размеров матрицы $D_m = D_n$, т. е. $D_n = D_m - z$; при пробивке отверстия — за счет увеличения размеров матрицы d_m против номинальных размеров пуансона $d_n = d_m$, т. е. $d_m = d_n + z$. Объясняется это тем, что вырубленной детали размеры придают матрицей, так как

она проходит через матрицу, а пробиваемому отверстию — пуансоном. Точность изготовления деталей при вырубке (пробивке) такова: при совмещенной штамповке 3—5-й класс, а при раздельной и последовательной штамповке 5—7-й класс точности по ГОСТу.

Зачистные операции

При изготовлении точных деталей (соответствующих 3-му классу точности по ГОСТу), которые должны иметь перпендикулярную, чистую и гладкую поверхность среза по всему вырубаемому контуру (до 8-го класса чистоты по ГОСТу), наиболее экономичным способом обработки являются зачистка, чистовая вырубка и пробивка.

Зачистка заключается в срезании припуска, преднамеренно оставленного при вырубке, на специальном зачистном штампе. Зачистка детали может производиться как по наружному, так и

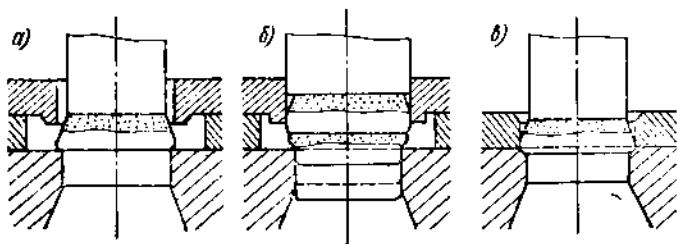


Рис. 135. Схема зачистки снятием припуска

по внутреннему контурам. В зависимости от рода материала и характера обрабатываемой детали зачистку производят один или несколько раз (многократная зачистка). Последняя применяется для деталей сложного контура из стали и латуни толщиной свыше 3 мм.

Зачистка деталей по наружному контуру может быть выполнена несколькими способами.

1. Зачистка пуансоном «меньше» матрицы. В том случае матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон сделан на 0,01 мм меньше этих размеров (рис. 135, а). Величина припуска y (на обе стороны) в этом случае для материалов толщиной от 0,5 до 5,2 мм составляет от 0,10 до 0,40 мм, а при s от 5,2 до 10,0 мм $y = 0,40 \div 0,60$ мм.

2. Зачистка пуансоном «больше—полнее» матрицы. В этом случае матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон — размеры заготовки, поступающей на зачистку (рис. 135, б). Здесь припуск y' на одну сторону для вышеуказанных толщин (0,5—5,2 мм) берется от 0,10 до 0,50 мм.

3. Зачистка обжимкой в конусной матрице. В этом случае зачистка производится проталкиванием вырубленной детали через матрицу с закругленными (заваленными) кромками (рис. 135, в).

Припуск на обжатию оставляют не более 0,06—0,08 мм на одну сторону. Зазор между матрицей и пуансоном берут порядка 0,01 мм.

В целях увеличения производительности в настоящее время применяют одновременную вырубку с зачисткой через две матрицы (вырубную сверху и зачистную снизу). Широко практикуется также чистовая вырубка (пробивка) — зачистка одновременно

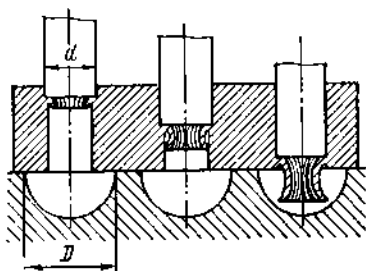


Рис. 136. Процесс образования стружки при зачистке отверстия (калибровке)

с вырубкой (пробивкой) из полосы одними и теми же матрицей и пуансоном. Точность зачистки по наружному контуру для металлов толщиной от 1 до 5 мм достигает 0,01—0,04 мм.

Зачистка деталей по внутреннему контуру — отверстий в штампах (калибровка) — производится пуансоном без сопряжения режущих кромок матрицы. Матрицей служит обыкновенная плита с соответствующим углублением для выхода стружки, диаметр кото-

рой D берется в полтора раза больше диаметра калибруемого отверстия d (рис. 136). Припуск на внутреннюю зачистку для материалов толщиной от 0,5 до 3,5 мм берут в пределах 0,10—0,25 мм на диаметр. Точность обработки достигает 0,01—0,03 мм как на диаметр, так и на расстояние между центрами отверстий [62; 19]. Зачистку наружную и внутреннюю производят на штампах с направляющими колонками на кривошипных или эксцентриковых прессах.

Раскрой материала при холодной штамповке

Способ расположения вырубаемых деталей на заготовке — листе, полосе — ленте называют раскроем материала.

Поскольку в массовом производстве выпуск продукции исчисляется миллионами штук в год, то при вырубке деталей особое внимание следует обращать на экономию материала, что имеет большое народнохозяйственное значение, так как стоимость материала штампованных деталей составляет от их общей стоимости примерно 60—80%.

Показателем, характеризующим экономичность раскроя, является коэффициент использования материала η , представляющий собой отношение полезной площади детали F_0 к площади заготовки $F_{заг}$, идущей на изготовление этой детали, т. е.

$$\eta = \frac{F_0}{F_{заг}} \cdot 100\% . \quad (126)$$

Коэффициент использования материала зависит от технологичности конструкции (формы) вырубаемой детали, ее расположения

на полосе и ленте, величины переемычки между деталями, а также от того, насколько максимально возможно использовать отходы данного листа или полосы на другие детали. Выполнение этих условий способствует повышению общего коэффициента использования материала при вырубке.

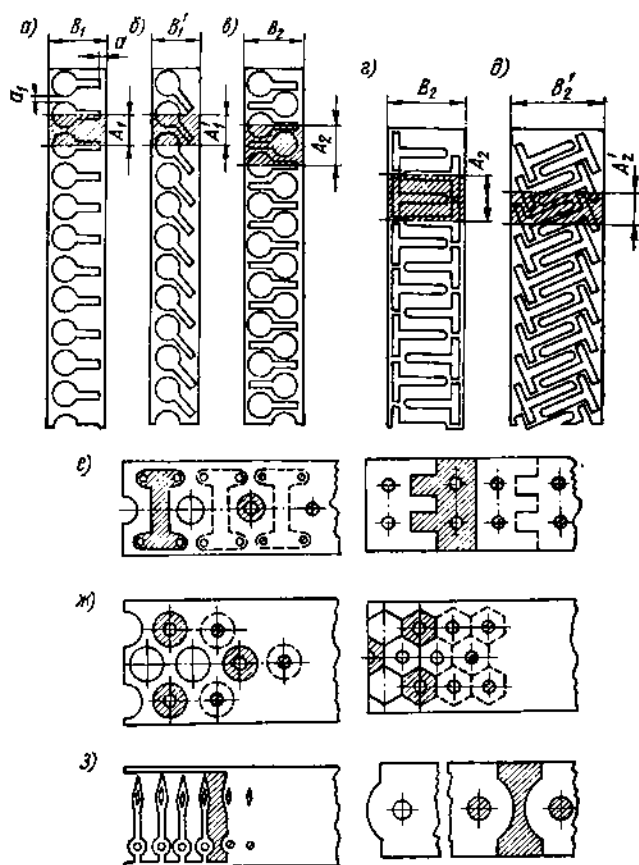


Рис. 137. Основные виды раскроя материала при вырубке фигурных деталей. A_1, A_1', A_2, A_2' — продольный шаг подачи; B_1, B_1', B_2, B_2' — ширина полосы при различных видах раскроя; a, a_1 — величины перемычек

Вырубку круглых деталей можно производить в один, два и несколько рядов при параллельном и шахматном их расположении. Круги диаметром D свыше 150 мм обычно вырезают в один ряд, при меньших размерах выгоднее применять многорядный шахматный раскрой. Ориентировочно, в зависимости от диаметра

вырубаемой детали — круга, можно считать, что каждый прибавляемый ряд при параллельном раскрое дает экономию 3—5%; шахматный раскрой по сравнению с параллельным дает выгоду 1,5—3%.

Вырубку фигурных деталей производят используя различные виды раскроя: прямой (а), наклонный (б), встречный прямой (в и г) и встречный наклонный (д), комбинированный (е), многорядный (ж), с вырезкой перемычки (з) — рис. 137. Кроме того, по способу вырубки раскрой бывает с перемычками и без перемычек.

При вырубке заготовок и грубых деталей применяют малоотходную и безотходную штамповку без перемычек.

Величина перемычки (мостика) в основном зависит от толщины и рода материала, от размеров и формы вырубаемой детали. Для металлов толщиной s от 0,5 до 4 мм перемычка между деталями a_1 составляет от 2 до 0,80 s , а по краям a соответственно равно от 2,5 до 0,90 s ; при толщине материала свыше 4 мм a_1 берут в пределах $(0,80 \div 0,70) s$, a — в пределах $(0,90 \div 0,80) s$.

§ 49. ШТАМПЫ ДЛЯ РЕЗКИ

Классификация и устройство штампов для резки

Штампы для резки классифицируют по следующим основным признакам:

1) по характеру выполняемых штампами операций — вырубные (вырезные), отрезные, пробивные, обрезные, надрезные, зачистные, просечные;

2) по способу действия — простой, последовательный и совмещенный;

3) по роду направляющих устройств — без направления (открытые), с направляющей плитой, с направляющими колонками или цилиндром, с направляющей плитой и колонками;

4) по способу ограничения подачи материала — с неподвижным упором, с подвижным (пружинящим или качающимся) упором, с ловителями, с боковыми ножами и др. Ниже рассматриваются некоторые основные конструкции штампов для резки.

Вырубные штампы простого действия. При штамповке деталей простой формы в мелкосерийном производстве применяют вырубные штампы без направляющих устройств, как наиболее простые и дешевые в изготовлении. Ими также пользуются в том случае, когда вырубку деталей производят из листа или обрезков (отходов), что весьма ценно с точки зрения экономии металла. При вырубке на таких штампах необходимо предусмотреть безопасность работы, применяя предохранительные ограждения.

При штамповке деталей в крупносерийном и массовом производстве из рулонно-ленточного или нарезанного полосового материала применяются вырубные штампы с направляющим устрой-

ством в виде плиты или колонок. В этих штампах верхняя часть (пуансон) строго направляется и центрируется относительно матрицы, что повышает точность вырубаемых деталей и стойкость штампа. Работа на таких штампах безопасна, так как пуансон все время находится в плите и все рабочие части штампа закрыты. Эти штампы могут быть как с неподвижным — жестким — упо-

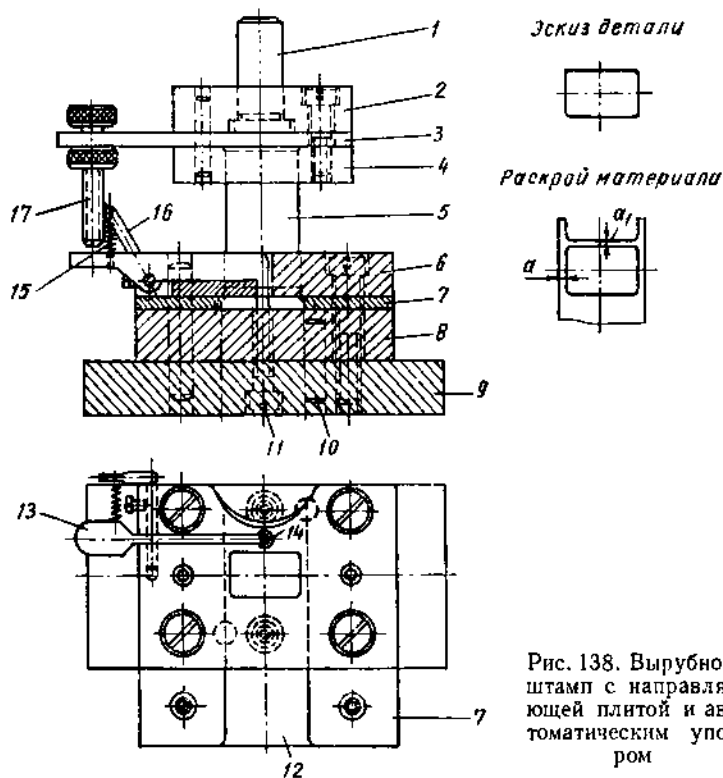


Рис. 138. Вырубной штамп с направляющей плитой и автоматическим упором

ром для ограничения подачи материала, так и с подвижным — пружинящим и автоматически действующим упором.

На рис. 138 изображен вырубной штамп с направляющей плитой и автоматическим крючкообразным упором. Верхняя часть штампа состоит из верхней плиты 2, в которую запрессован цилиндрический хвостовик 1, прокладки 3 и пуансонодержателя 4 с расклепанным в нем пуансоном 5. Детали 2, 3, 4 скреплены между собой при помощи винтов и штифтов. На нижней плите 9 винтами и штифтами закреплены матрица 8 и направляющая плита 6, являющаяся одновременно и съемником. Между направляющей плитой и матрицей находятся две направляющие линейки 7, на которых и лежит плита 6. Для сохранения параллельности рабочей

плоскости матрицы 8 и нижней плоскости плиты 9 при шлифовке последние отдельно скреплены между собой винтами 11 и штифтами 10; при разборке штампа они не разъединяются. Направляющие линейки 7 изготовляют выходящими из штампа. К ним при помощи винтов прикрепляется специальный лоток 12 для лучшего поддержания ленты (полосы) во время штамповки.

Работа на этом штампе происходит в следующей последовательности. При опускании верхней части штампа нажимной винт 17 (с накатанной круглой головкой и контргайкой) приподнимает крючок упора 13 и освобождает его от ленты. Одновременно происходит вырубка детали. В момент подъема крючка пружина 15, закрепленная между рычагом 16 и упором 13, оттягивает его в сторону, обратную подаче, — к стенке отверстия 14. При отходе пуансона вверх и перемещении ленты вперед крючок попадает во вновь вырубленное отверстие, задняя кромка которого при подаче на величину шага упрется в него. При хорошо отрегулированном упоре и достаточной сноровке рабочего на таких штампах можно работать при непрерывном ходе пресса с числом ударов до 140 в минуту.

Пробивные штампы. Пробивные штампы применяют для пробивки отверстий в плоских заготовках (после вырубки детали или одновременно), а также в готовых изделиях, полученных гибкой или вытяжкой.

В зависимости от формы заготовки или детали, предназначенной для пробивки, используются различные фиксаторные планки: открытые, полузакрытые и закрытые или фиксаторные штифты. Планки или штифты служат для фиксации положения заготовки при пробивке в ней отверстия. Пробивные штампы могут быть без прижима и с прижимом. Они, так же как и вырубные, могут быть с направляющей плитой или с направляющими колонками [18, 19].

Вырубные штампы последовательного действия. В массовом и крупносерийном производствах при штамповке деталей с отверстиями в целях повышения производительности применяются штампы последовательного и совмещенного действия. В штампах первого типа пробивной и вырубной штампы соединены в один и детали изготавливаются в два и более последовательных хода ползуна пресса. Для точного центрирования пробиваемых отверстий относительно наружного вырубаемого контура в указанных штампах используют дополнительные детали в виде ловителей, шаговых ножей, автоматических устройств и т. д.

Последовательно-вырубные штампы могут быть как с направляющей плитой, так и с направляющими колонками. На рис. 139 изображен штамп последовательного действия с направляющими колонками для изготовления пластины с двумя овальными и двумя фасонными отверстиями из стали марки 08 толщиной 1,2 мм [26]. Пластина затем разрезается на две заготовки. Штамповку производят на прессе-автомате с двухсторонней валковой подачей.

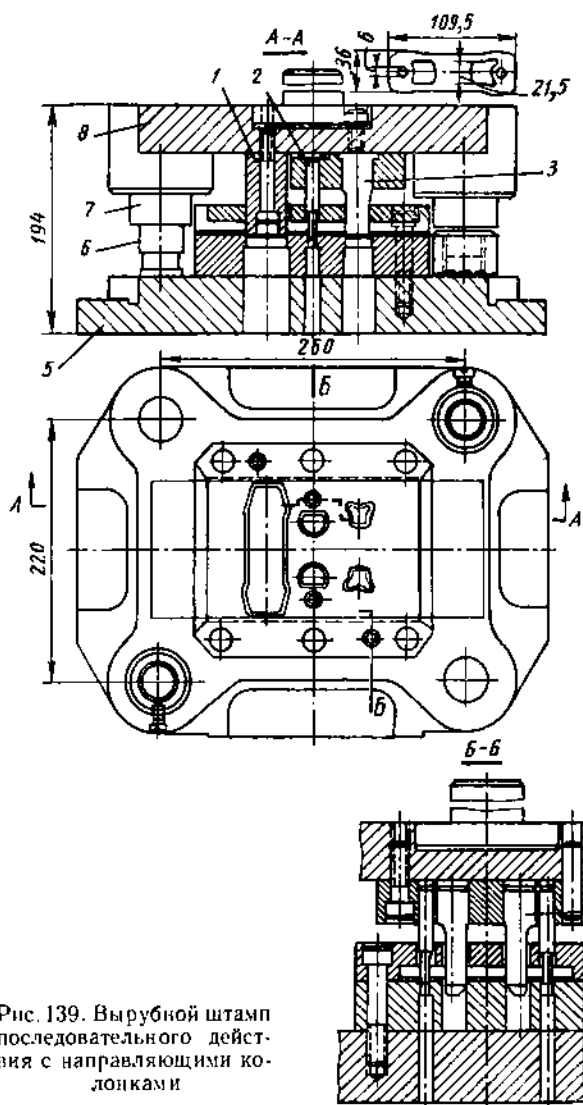


Рис. 139. Вырубной штамп последовательного действия с направляющими колонками

Штамп работает в такой последовательности. За первый ход пресса пуансоны 3 пробивают в полосе (ленте) два фасонных отверстия, после чего полоса автоматически перемещается валками на величину шага 39 мм. При втором ходе пресса пуансоны 2 пробивают овальные отверстия размером 6×7,5 мм, а пуансоны 3 — фасонные отверстия для следующей детали. При третьем ходе пресса вступают в работу пуансон 1, который вырезает сдвоенную заготовку по наружному контуру — готовую деталь, а другие пуансоны пробивают отверстия для последующих деталей.

Для обеспечения точного расположения пробиваемых отверстий относительно наружного контура детали в штампе предусмотрены ловители 4, которые корректируют положение полосы (ленты) в штампе; колончатый блок штампа состоит из верхней и нижней плит 5, 8, направляющих колонок 6 и втулок 7.

Вырубные штампы совмещенного действия. В штампах совмещенного действия, называемых иногда комбинированными или компаундными штампами, в отличие от штампов последовательного действия вырубка контура и пробивка отверстий происходят одновременно за один удар пресса. У таких штампов для удобства работы в нижней части расположен вырубной неподвижный пуансон, являющийся одновременно матрицей для пробивных пуансонов; в верхней же части закреплены подвижная матрица для вырубки наружного контура и пробивные пуансоны.

Совмещенные штампы компактны и обеспечивают точность (концентричность) внутренних отверстий относительно наружного контура изделия. Кроме того, они позволяют использовать листы и отходы, поэтому в настоящее время они широко применяются для изготовления деталей, требующих высокой точности и чистоты обработки.

На рис. 140 показана типовая конструкция совмещенного штампа с направляющими колонками для изготовления фигурной пластины с девятью отверстиями из стальной полосы (сталь марки Ст.3) толщиной 4 мм. Вырубная матрица состоит из шести секций 3, врезанных в обойму 2, прикрепленную к верхней плите 1. В обойме закреплены пробивные пуансоны 5, 6. Пуансон—матрица 7 непосредственно закреплена на нижней плите 9, к которой прикрепляется снизу добавочная плита 8 с простроганным к ней выгребным пазом для удаления отходов после штамповки. Направление полосы перед штамповкой осуществляется двумя штифтами 10, помещающимися в съемнике 12, а ограничение подачи материала достигается пружинящим упором 4.

Снятие полосы после штамповки производится от пневматического (или пружинящего) устройства пресса, действующего на четыре стержня — штыря 11 и через них на съемник 12. Выталкивание детали производится принудительно от пресса, когда верхняя часть штампа доходит до верхнего мертвого положения ползуна пресса, через толкатель 14 и выталкивающую плиту 13.

Штамповка крупногабаритных деталей с размерами свыше 350 мм производится из заготовок — карт на одну-две детали [19].

Материалы штампов для резки и их термическая обработка

С целью повышения стойкости штампа и улучшения качества деталей от рабочих частей штампов для резки — пуансона и матрицы — требуется, чтобы они хорошо противостояли большому давлению и ударам, а также хорошо сопротивлялись износу от трения.

В зависимости от условия работы материалы для штампов выбирают исходя из следующих соображений. При вырубке деталей простой формы из материала толщиной до 3—4 мм пуансоны и матрицы изготовляют из инструментальной углеродистой стали марок У8А и У10А. Для вырубке деталей сложной формы, а также при толщине материала свыше 4 мм, применяют легированные стали марок Х12, Х12М, 5ХВ2С, 9ХВГ, Х12ТФ, Х12Ф1, 7ХГ2ВФМ.

Пуансоны и матрицы подвергают термической обработке — закалке и отпуску с последующей шлифовкой и полировкой рабочих поверхностей. Твердость для пуансонов рекомендуется иметь HRC 58—60, для матриц HRC 58—62. Чистота обработки рабочих поверхностей $\nabla 8$ — $\nabla 7$.

При изготовлении больших вырубных штампов сложной конфигурации пуансоны и матрицы делают составными из отдельных секций или сварными, что облегчает их изготовление, а при поломке заменяется только вышедшая из строя часть. При вырубке (пробивке) мелких деталей применяют вставные втулочные матрицы. Для повышения стойкости штампов рабочие части делают из твердых сплавов ВК20ВС, ВК25ВС (спекаемые в водородной среде — ВС, размер зерна 1,7 мк) — [19; 62].

Верхние и нижние плиты штампов изготовляют из чугуна марки СЧ 18—36 или из стали марки Ст.5 (сталь 35).

Смазка при операциях резки

Смазка материала и штампа при операциях резки оказывает влияние на усилие съема и проталкивания, а следовательно, и на общее усилие вырубке. Смазка охлаждает режущие кромки пуансона и матрицы, которые во время работы заметно нагреваются, что повышает их стойкость. Поэтому, как правило, рабочие части штампа следует периодически смазывать. В качестве смазки используют машинное, трансформаторное, веретенное и другие масла малой вязкости. При штамповке латуни и бронзы в качестве смазки служит мыльная эмульсия, при штамповке алюминия — машинное масло № 6.

Процесс гибки

Гибка — технологическая операция листовой штамповки, когда из плоской заготовки при помощи штампов получают изогнутую деталь.

Гибка может быть одноугловая, двухугловая, четырехугловая и многоугловая (рис. 141, *а—г*). К гибке также относятся операции по закатке — завивке края на плоской заготовке, гибка хомутиков, незамкнутых трубочек и т. д. (рис. 141, *д, е, ж*). Гибка может производиться одновременно и с другими операциями — отрезкой, вырубкой, пробивкой.

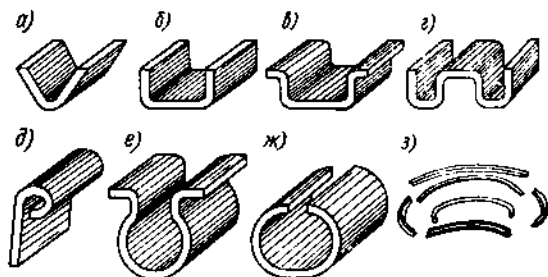


Рис. 141. Схема операций и форма деталей, получаемых при гибке: *а* — одноугловая; *б* — двухугловая; *в* — четырехугловая; *г* — многоугловая; *д* — завивка петель; *е* — согнутый хомут; *ж* — незамкнутая трубочка; *з* — гибка с растяжением материала

Штамповку длинных и узких деталей из тонколистового материала с большим радиусом закругления (малой кривизны) осуществляют путем гибки с растяжением материала (рис. 141, *з*).

Гибка производится на кривошипных (эксцентриковых) прессах, горизонтально-гибочных машинах — бульдозерах (для крупногабаритных деталей), гидравлических прессах, а также на специальных гибочных автоматах.

Гибка металлической заготовки осуществляется в результате упруго-пластической деформации, которая происходит вблизи углов гибки — очагов деформации (рис. 142, *а*). При этом волокна (слои) металла, прилегающие к внутренней поверхности (со стороны пуансона с меньшим радиусом кривизны r) *aa*, испытывают сжатие, а волокна, расположенные у внешней поверхности (со стороны матрицы с большим радиусом кривизны R) *bb* — растяжение. Между растянутыми и сжатыми слоями металла находится нейтральный слой (нейтральная поверхность *ОО*), не изменяющийся по длине, положение которой определяется отношением радиуса гибки r к толщине металла s .

При гибке узких полос ($b < 3s$) с достаточной толщиной материала s имеет место плоско-напряженное и объемно-деформированное состояние; при гибке широких полос ($b > 3s$) объемно-напряженное и плоско-деформированное состояние, благодаря появлению поперечного напряжения σ_2 (рис. 141, б). Последнее возникает вследствие того, что при гибке широких полос поперечная деформация вдоль линии изгиба (поперек полосы) затруднена.

При гибке тонких материалов (с отношением $\frac{r}{s} > 5$) можно принять упрощенную схему линейного напряженного состоя-

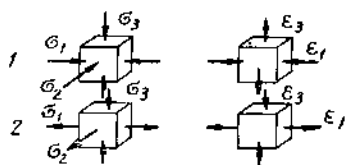
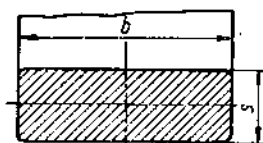
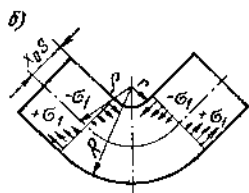
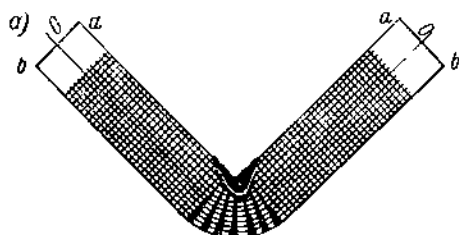


Рис. 142. Деформация металла при изгибе (а) и схема напряженно-деформированного состояния при гибке широких полос (б):

1—внутренняя сжатая часть; 2—наружная растянутая часть

ния (сжатие внутренних и растяжение наружных волокон). В зоне деформации происходит упрочнение металла. Линию (ребро) гибки на детали следует расположить перпендикулярно направлению прокатки или под углом, близким к 90° ($\frac{\pi}{2} \text{ рад}$), так как в противном случае возможен излом материала. Если деталь должна быть изогнута в двух направлениях, то ее следует расположить так, чтобы ось гибки составляла угол в 45° ($\frac{\pi}{4} \text{ рад}$) с направлением прокатки. Поэтому очень важно при составлении раскроя материала для деталей, подлежащих последующей гибке, учитывать не только экономный раскрой, но и расположение деталей по отношению к направлению прокатки.

Для определения размеров заготовки при гибке, а также установления возможного минимального внутреннего радиуса закругления изделия (радиуса закругления пуансона) r весьма важно знать положение нейтральной поверхности (слоя) деформации q . Расположение ее зависит главным образом от относительного радиуса гибки $\frac{r}{s}$.

При небольших пластических деформациях, например при гибке с внутренним радиусом $r > 5s$ принимают, что нейтральная поверхность деформации радиусом q проходит по середине толщины полосы s , т. е. $q = r + \frac{s}{2}$.

При больших пластических деформациях, обычно при гибке заготовок с малым радиусом закругления ($\frac{r}{s} < 4$), изгиб сопровождается уменьшением толщины материала и смещением нейтрального слоя в сторону сжатых волокон. В этом случае расстояние нейтральной поверхности радиусом q от внутренней поверхности изгибаемой заготовки можно определить из выражения

$$q = r + x_0 s, \quad (127)$$

где x_0 — коэффициент, зависящий от рода материала, относительно радиуса $\frac{r}{s}$ и угла загиба α .

Для сталей 10—20 при $\alpha = 90^\circ$ ($\frac{\pi}{2} \text{ рад}$) x_0 имеет следующие значения:

При $\frac{r}{s} = 0,25$	$x_0 = 0,32$	При $\frac{r}{s} = 2,0$	$x_0 = 0,45$
При $\frac{r}{s} = 0,50$	$x_0 = 0,37$	При $\frac{r}{s} = 4,0$	$x_0 = 0,48$
При $\frac{r}{s} = 1,0$	$x_0 = 0,42$	При $\frac{r}{s} > 5$	$x_0 = 0,50$

Помимо нейтральной поверхности деформаций радиусом q имеется и нейтральная поверхность напряжений радиусом q_n , в которой происходит перемена знака напряжений (сжатие—растяжение). Радиус q_n определяется из зависимости

$$q_n = \sqrt{Rr}, \quad (128)$$

при этом он находится ближе к центру кривизны изгиба, т. е. $q_n < q$.

Минимально допустимый внутренний радиус закругления детали, равный радиусу закругления пуансона r_{\min} , на практике устанавливают в зависимости от рода материала, направления прокатки (явление анизотропии), а также от наличия и положения заусенцев на заготовке. Он составляет от 0,25 до 2,5 толщины s материала.

Вследствие упругих свойств металла форма изделия после гибки отличается от формы штампа, или, как говорят, изделие «отпружинивает». Поэтому при проектировании и изготовлении гибочных штампов следует учитывать величину пружинения и заранее корректировать углы штампа на угол пружинения β .

Угол пружинения в основном зависит от рода и толщины материала, формы детали, радиуса гибки, а также от силы удара. Чем тверже металл, чем больше отношение $\frac{r}{s}$ и меньше толщина материала и чем сильнее удар, тем больше при прочих равных условиях угол пружинения β . При гибке под углом 90° ($\frac{\pi}{2} \text{ рад}$) без калибровки β составляет от 2 до 12° (от $\frac{1}{90}$ до $\frac{1}{15} \pi \text{ рад}$); для алюминия, мягкой латуни и мягкой стали $\beta = 2 \div 6^\circ$ ($\frac{1}{90} \div \frac{1}{30} \pi \text{ рад}$), а для твердой латуни и твердой стали $\beta = 6 \div 12^\circ$ ($\frac{1}{30} \div \frac{1}{15} \pi \text{ рад}$).

Гибку узких и длинных деталей из тонкого материала с весьма большим радиусом (при $r > 15s$), у которых сильно сказывается влияние упругой деформации, производят способом гибки с растяжением.

Принцип подобного процесса гибки состоит в том, что к концам подлежащей деформированию заготовки прилагают растягивающую силу и последующую гибку осуществляют в растянутом состоянии. Благодаря этому пружинение детали после гибки с растяжением получается ничтожным. Процесс этот достигается применением специальных штампов и станков для производства одновременной гибки с растяжением [19; 42].

Определение размеров заготовки при гибке

При определении размеров заготовки необходимо учитывать форму изделия, отношение $\frac{r}{s}$, а также каким способом производится гибка. Различают гибку по кривой определенного радиуса и гибку под углом без закругления (рис. 143).

В первом случае для определения размеров заготовки пользуются методом развертки, основанным на том, что нейтральная линия (поверхность) при гибке сохраняет свои первоначальные размеры и расположена в местах закруглений на расстоянии x_0 от внутренней поверхности изделия. Поэтому при определении размеров заготовки для гибки сложной детали нужно сложить длину прямых участков и прибавить подсчитанную длину нейтральной линии закругленных участков (рис. 143, а).

Длина заготовки для детали с одним перегибом при угле в α° (π рад) определяется из выражения

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180^\circ} (r + x_0 s), \quad (129)$$

а для детали с несколькими углами $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ из зависимости

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{n+1} + \frac{\pi\alpha_1}{180^\circ} (r_1 + x_1 s) + \dots + \frac{\pi\alpha_2}{180^\circ} (r_2 + x_2 s) + \dots + \frac{\pi\alpha_n}{180^\circ} (r_n + x_n s). \quad (130)$$

Значения x_1, x_2, \dots, x_n , зависящие от отношения $\frac{r}{s}$, приведены на стр. 253.

При гибке под углом без закруглений (с относительно острым ребром) или с закруглениями очень ма-

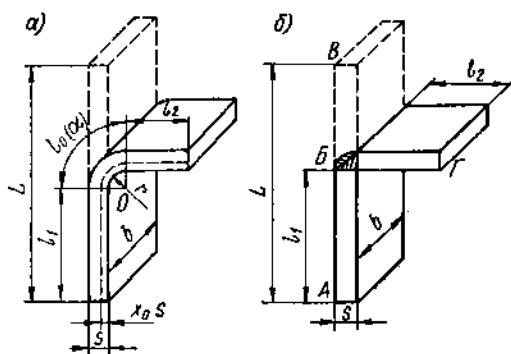


Рис. 143. Эскизы деталей к расчету длины заготовки при гибке

лого радиуса ($r < 0,3s$), когда в месте изгиба происходит значительная деформация, пользоваться методом развертки для определения размеров заготовки нельзя. В этом случае исходят из условия равенства объемов металла заготовки до гибки AB и после нее $AB\Gamma$ (рис. 143, б).

С учетом соответствующих практических поправок длина заготовки для одноугловой гибки определится из выражения

$$L = l_1 + l_2 + x's, \quad (131)$$

где $x's$ — величина прибавки на образование угла; берется в пределах $(0,4 \div 0,6)s$ (для мягких металлов $0,4s$, для твердых $0,6s$), в среднем по $0,5s$ на каждый угол.

При одновременной гибке нескольких углов изгиб сопровождается растяжением металла в середине и по концам участков.

Поэтому в указанных случаях прибавление длины заготовки на образование углов берут несколько меньше — в пределах $(0,20 \div 0,30)$ s на каждый угол, в среднем по 0,25 s. Например, для двух-угловой гибки длина заготовки

$$L = l_1 + l_2 + 2x's = l_1 + l_2 + 2 \cdot 0,25s. \quad (132)$$

Усилие при гибке

Так как процесс гибки в штампах происходит за пределом упругости в области пластических деформаций, то вполне понятно, что пользоваться обычными формулами, применяемыми при расчете изгиба балок в области упругих деформаций в курсе сопротивления материалов ($M = W\sigma$), нельзя.

В каждом отдельном случае в зависимости от способа гибки, точки приложения силы и характера соответствующей деформации при гибке (отношения $\frac{r}{s}$, схемы напряженного состояния — линейное или объемное, с упрочнением или без упрочнения) следует внести необходимые коррективы.

При пластическом изгибе без упрочнения, например при горячей листовой штамповке, изгибающий момент M_u в кгм (дж) можно определить по формуле М. В. Сторожева и Е. П. Попова [50]

$$M_u = \beta \sigma_T \frac{bs^2}{4}, \quad (133)$$

где β — коэффициент, равный 1,15 при плоском деформированном состоянии;

σ_T — предел текучести, равный σ_s , для нагретого металла;

b — ширина полосы в мм.

Изгибающий момент при пластическом изгибе с упрочнением для случая холодной листовой штамповки (без учета изменения толщины заготовки) определяется по формуле [50]

$$M_u = \beta b \left\{ \frac{(\sigma_{T_0} + \Pi)s^2}{4} - \frac{\Pi \sqrt{Rr}}{2} \left[R + \frac{1}{3} \frac{r^2}{R} - \frac{4}{3} \sqrt{Rr} \right] \right\}, \quad (134)$$

где σ_{T_0} — «экстраполированный» предел текучести при растяжении, равный $\frac{\sigma_s(1-2\psi_s)}{(1-\psi_s)^2}$;

Π — модуль упрочнения, равный $\frac{\sigma_s}{(1-\psi_s)^2}$;

σ_s — временное сопротивление разрыву в кг/мм² (Мн/м²);

ψ_s — относительное сужение в момент начала образования шейки в относительных единицах.

Приведенная формула применима и для случая объемного напряженного состояния, которое имеет место при отношении $\frac{r}{s} < 3$.

На практике для определения изгибающего момента можно пользоваться и упрощенной зависимостью, погрешность которой по сравнению с формулой (134) не превышает 5% [18; 19]

$$M_u = W\sigma_s k = \frac{bs^2}{6} \sigma_s (1,5 + \varepsilon_s), \quad (135)$$

где ε_s — относительное удлинение в момент начала образования шейки, равное приблизительно 0,80 δ ;

$k = 1,5 + \varepsilon_s$ — коэффициент, учитывающий характер диаграммы и упрочнение металла при гибке.

По изгибающему моменту определяют усилие, необходимое для гибки. Усилие при гибке полосы на одноугловом штампе определим, рассматривая этот случай как изгиб балки, свободно лежащей на двух опорах с расстоянием между ними, равным l_x (рис. 144, а) и нагруженной посередине силой P_0 . Тогда изгибающий момент в $\kappa\Gamma\mathcal{M}$ (дж)

$$M_u = \frac{P_0 l_x}{4} = W\sigma_s k = \frac{bs^2}{6} \sigma_s (1,5 + \varepsilon_s), \quad (136)$$

откуда усилие гибки в $\kappa\Gamma$ (н) — без учета силы трения — для любого положения пуансона

$$P_0 = \frac{4(1,5 + \varepsilon_s) bs^2 \sigma_s}{6l_x}. \quad (137)$$

Наименьшее усилие будет в начале гибки, когда $l_x = l$, наибольшее в конце гибки при $l_x = l_k = 2r \sin \frac{\alpha_x}{2}$.

Тогда

$$P_{0 \max} = \frac{4(1,5 + \varepsilon_s) bs^2 \sigma_s}{6 \cdot 2r \sin \frac{\alpha_x}{2}}. \quad (138)$$

С учетом силы трения $P_{тр}$ (приняв коэффициент трения $f=0,3$ и считая, что составляющие силы гибки перпендикулярны рабочим плоскостям матрицы) максимальное усилие гибки P_{\max} будет

$$P_{\max} = P = P_{0 \max} + P_{тр} = P_{0 \max} + fP_{0 \max} = 1,3P_{0 \max}. \quad (139)$$

Усилие при гибке скобы на двухугловом штампе определяем, рассматривая этот случай как балку, загибаемую вокруг рабочих кромок пуансона в двух заделанных (условно) точках E (рис. 144, б). Тогда изгибающий момент в $\kappa\Gamma\mathcal{M}$ (дж)

$$M_u = P_0 l_B = 2W\sigma_s (1,5 + \varepsilon_s) = 2 \frac{bs^2}{6} \sigma_s (1,5 + \varepsilon_s), \quad (140)$$

где l_B — переменное плечо, уменьшающееся по мере опускания пуансона и определяемое из геометрических соотношений, а именно:

$$\begin{aligned} l_B &= r_n + s + cs + r_n - r_n \sin \alpha - r_n \sin \alpha = \\ &= s + cs + r_n (1 - \sin \alpha) + r_n (1 - \sin \alpha). \end{aligned}$$

Очевидно, что максимальное усилие гибки получается в конце штамповки, когда угол α приближается к 90° ($\frac{\pi}{2} \text{ рад}$) и $\sin \alpha = 1,0$ (при $l_B = l_{B \min} = s + cs$). Тогда максимальное усилие гибки в кг (н) при работе на провал (без учета силы трения) будет:

$$P_{0 \max} = \frac{2(1,5 + e_s)bs^2\sigma_s}{6l_{B \min}} = \frac{2(1,5 + e_s)bs^2\sigma_s}{6(s + cs)}. \quad (141)$$

С учетом трения действительное максимальное усилие гибки будет:

$$P_{\max} = P = P_{0 \max} + P_{\text{тр}} = 1,3P_{0 \max}. \quad (142)$$

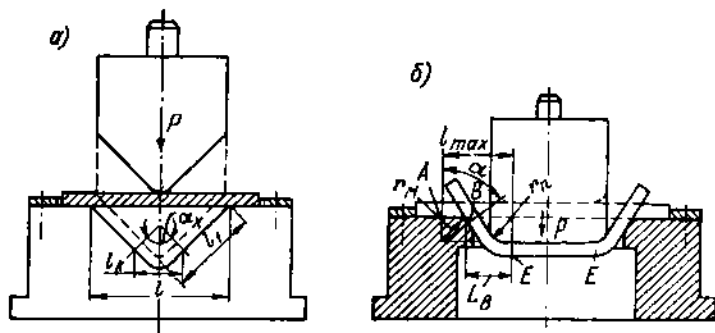


Рис. 144. Схемы к расчету усилия гибки

В случае гибки с правкой материала, поскольку правка следует за гибкой (производится в конце процесса гибки) и не совпадает с ней во времени, усилие, необходимое для правки, определяют по формуле

$$P_{\text{пр}} = Fp, \quad (143)$$

где F — площадь проекции участков изгибаемой детали, подвергаемых правке, в мм^2 ;

p — удельное давление (удельное усилие), принимаемое равным $3\text{--}15 \text{ кг/мм}^2$ ($30\text{--}150 \text{ Мн/м}^2$) [19].

По данному максимальному усилию подбирают пресс.

Радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона и зазоры между ними при гибке

Радиусы закругления и зазоры оказывают существенное влияние на усилие гибки, качество изгибаемых деталей и стойкость штампа. Опыты показывают, что наименьшее усилие гибки, более качественные детали и большая стойкость штампа получаются при нормальных (выгодных) радиусах закруглений и зазорах.

Радиус закруглений матрицы r_m в зависимости от рода и толщины материала, а также от длины загибаемой полки L_0 берут в пределах 2—6 s .

Радиус закругления пуансона r_n обычно принимают по внутреннему радиусу изделия. При особой конструктивной необходимости r_n можно брать равным r_{\min} .

Величина зазора z_2 (на одну сторону) при двухугловой гибке в основном зависит от рода и толщины материала, допуска на прокатку, а также от длины загибаемой полки L_0 и определяется из зависимости

$$z_2 = s + cs, \quad (144)$$

где c — коэффициент, учитывающий уменьшение трения изгибаемой детали о рабочую поверхность матрицы, равный 0,06—0,15 [30; 19]: $c = 0,06$ для $s > 4$ мм и $L_0 < 35$ мм; $c = 0,15$ для $s < 2$ мм и $L_0 > 50$ мм.

Приблизительно величину зазора для цветных металлов (медь, латунь, алюминий) берут в пределах 1,0—1,10 толщины заготовки, а для стали — 1,05—1,15 толщины заготовки.

Глубина прямого участка матрицы в штампах для гибки с нижним прижимом должна быть не менее 5—6 толщин материала. Направление зазора устанавливают из следующих соображений: зазор делают за счет пуансона, когда требуется выдержать наружный размер загибаемой детали, и за счет матрицы, если требуется сохранить внутренний размер.

§ 51. ГИБОЧНЫЕ ШТАМПЫ

Для гибки применяют штампы различных конструкций. Все гибочные штампы могут быть разделены на четыре основные группы:

- 1) простые — одно- и двухугловые с выталкивателем или с прижимным устройством;
- 2) сложные (постепенного действия) с качающимися колодками и скобами, вращающимися валиками, боковыми клиньями и др.;
- 3) комбинированные — для одновременной отрезки или вырубki и гибки;
- 4) многооперационные последовательного действия.

Указанные штампы могут быть смонтированы на плитовых — пакетных или колончатых блоках.

Схема одноуглового гибочного штампа приведена на рис. 144, а. На рис. 145 представлена конструкция двухуглового гибочного штампа с прижимом материала для изготовления поперечины ресор грузового автомобиля. Поперечина изготавливается за три операции: резка заготовок на гильотинных ножницах, пробивка двенадцати отверстий диаметром 10,2 мм и двух технологических отверстий диаметром 50 мм, гибка [26].

Заготовка укладывается на прижим-выталкиватель 7 и фиксируется по двум технологическим отверстиям фиксаторами 6, закрепленными на выталкивателе в продольном направлении. При опускании пуансона 2, закрепленного на верхней плите 1, заготовка вначале плотно зажимается между пуансоном и выталкивателем, а затем изгибается и принимает форму детали, как показано на рисунке. После штамповки деталь удаляется из матрицы 4 вытол-

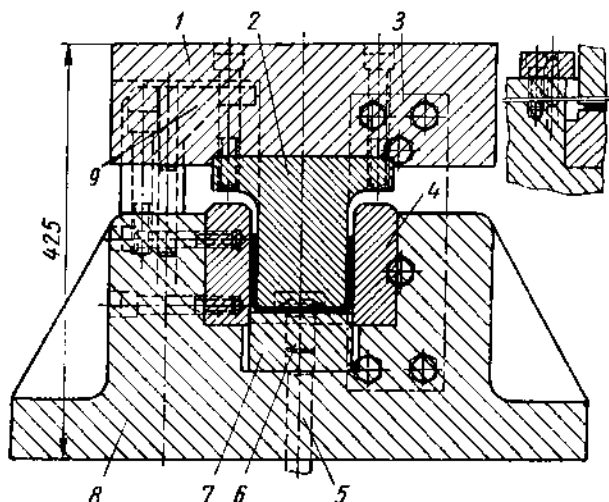


Рис. 145. Двухугольный гибочный штамп с прижимом материала для штамповки поперечины рессор грузового автомобиля

кивателем 7, действующим через стержни 5 от нижнего буферного или пневматического устройства. С пуансона 2 поперечина снимается козырьковыми съемниками 9.

В этом штампе матрица выполнена в виде двух щек 4, закрепленных сбоку винтами в нижней плите 8. Такая конструкция позволяет заменить изношенные части матрицы новыми.

Для удобства и облегчения установки штампа на пресс предусмотрены две планки 3, которыми на время установки скрепляются верхняя и нижняя части штампа. После установки и закрепления штампа на прессе планки снимаются.

При гибке применяются штампы с направляющими колонками и различные комбинированные штампы [19; 26]. Для уменьшения трения между заготовкой и рабочей поверхностью стального штампа, а также в целях охлаждения инструмента заготовку и штамп смазывают. В качестве смазки используют машинное и су-репное масло и смесь крепкого мыльного щелока с маслом.

Материалы для гибочных штампов приводятся в § 54.

§ 52. ВЫТЯЖКА

Процесс вытяжки

Вытяжка — это процесс превращения плоской или полый заготовки в открытое сверху полое изделие, осуществляемый при помощи вытяжных штампов. В настоящее время вытяжка получила широкое применение во всех отраслях промышленности при изготовлении деталей машин, приборов, аппаратов и предметов народного потребления.

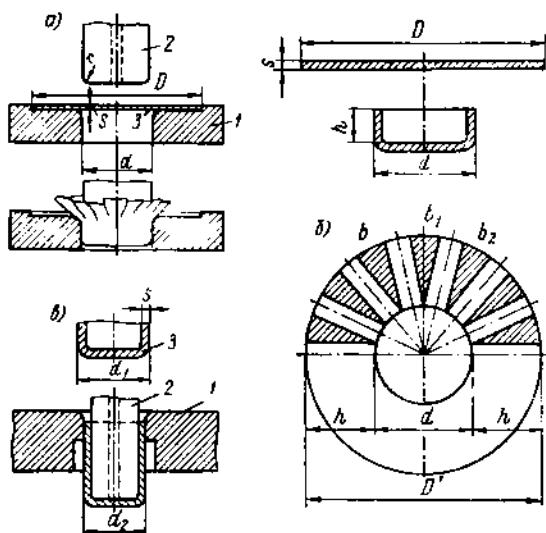


Рис. 146. Схема процесса вытяжки: а — вытяжка на первой операции без прижима и образования складок; б — развертка полого цилиндра и избыточные треугольники; в — вытяжка на второй операции без прижима.

1 — вытяжная матрица; 2 — пуансон; 3 — заготовка

В штамповочном производстве различают два вида вытяжки: вытяжку без утонения стенок и вытяжку с утонением стенок. В первом случае вытяжка происходит без заранее обусловленного изменения толщины материала стенок изделия, во втором — за счет изменения поперечного сечения и утонения стенок.

Вытяжка производится на кривошипных прессах двойного действия, кулисных прессах двойного действия с подвижным нижним столом, кривошипных прессах простого действия с пневматическим устройством (подушкой), а также на гидравлических прессах.

Вытяжку без утонения стенок изделия производят с применением прижима (рис. 147) в случае штамповки глубоких сосудов из тонкого материала (при $\frac{s}{D} \cdot 100 < 1,5\%$ и при $\frac{s}{d_{n-1}} \cdot 100 < 1,0\%$)

и без прижима (рис. 146) при изготовлении неглубоких сосудов или изделий из толстого материала (при $\frac{s}{D} \cdot 100 > 2,0\%$ и при $\frac{s}{d_{n-1}} \cdot 100 > 1,5\%$). Здесь D и d_{n-1} — диаметры плоской и полой заготовки, s — толщина материала.

Так как при вытяжке происходит втягивание материала заготовки (кружка) пуансоном с закруглением r_n большего диаметра D в матрицу с закруглением r_m , имеющую меньший диаметр d (рис. 146, а), то естественно, что по краю вытянутого колпачка

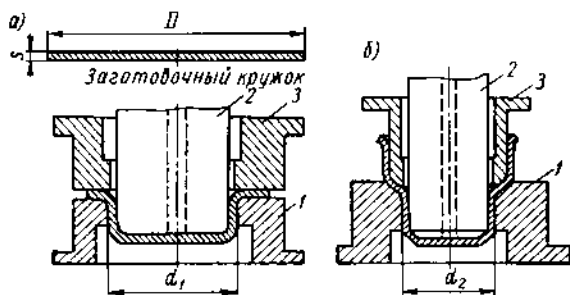


Рис. 147. Вытяжка с прижимом материала:

1 — вытяжная матрица; 2 — пуансон; 3 — прижимное кольцо

образуются складки (гофры) за счет наличия избыточного материала или так называемых характеристичных (избыточных) треугольников b , b_1 , b_2 , ..., b_n в заготовке (рис. 146, б).

Для предотвращения образования складок применяют прижимное кольцо или складкодержатель, который прижимает фланец заготовки к матрице таким образом, что материал не имеет возможности образовать складки, а вынужден перемещаться под давлением пуансона в радиальном направлении. Прижим материала применяется как для первой операции вытяжки, т. е. при вытяжке детали из плоской заготовки (рис. 147, а), так и при последующих операциях вытяжки из полой заготовки (рис. 147, б).

Вытяжка без прижима применяется при изготовлении неглубоких сосудов или изделий из толстых материалов, когда складки почти не образуются или выглаживаются при прохождении через матрицу.

Определение формы и размеров заготовки при вытяжке

Для определения размеров заготовки при вытяжке исходят из основного закона обработки давлением: вес G и объем V материала до вытяжки — заготовки равен весу G' и объему V' материала после вытяжки — готового изделия.

Размеры плоской заготовки при вытяжке полых тел можно определить несколькими методами: 1) методом равенства поверхностей; 2) методом равенства объемов; 3) методом равенства весов.

Метод равенства поверхностей. Этим методом можно пользоваться для случая вытяжки без утонения стенок изделия, считая, что средняя толщина стенки s' равна толщине дна и заготовки s . Сущность его состоит в том, что поверхность изделия условно подразделяют на ряд простых геометрических фигур, которые легко подсчитать. Затем, приравнявая сумму всех элементарных поверхностей готового изделия F' площади заготовки F , находят ее размер.

В качестве примера рассмотрим способ определения размеров заготовки при вытяжке простого тела вращения — цилиндра, у которого дно и стенки имеют одинаковую толщину и сопряжены (условно) под прямым углом (рис. 148). Исходя из геометрических соотношений, считая поверхность цилиндра по среднему диаметру ($d_{cp} = d_o + s = d_i + s$), получаем

$$F' = F_d + F_b = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} + \pi d_{cp} (h + h') = F = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (145)$$

где F_d и F_b — площадь дна и боковая поверхность цилиндра, откуда

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h')}. \quad (146)$$

Здесь h' припуск, который специально прибавляют на подрезку края цилиндра, так как при глубокой вытяжке невозможно получить ровный край. Величина припуска зависит от высоты и формы изделия, рода и толщины материала, а также от числа вытяжных операций. Для высоты цилиндра $h = 6 \div 150$ мм припуск h' берут в пределах от 1,2 до 6,5 мм; для высоты $h = 150 \div 250$ мм h' берут равным 5—4% от высоты.

Если тело состоит из n простых поверхностей (F_1, F_2, \dots, F_n), то, пользуясь этим методом, можно определить диаметр заготовки из зависимости

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} (F_1 + F_2 + \dots + F_n)}. \quad (147)$$

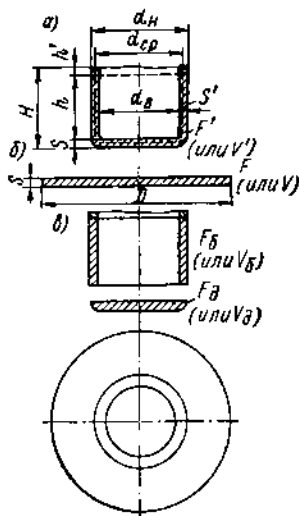


Рис. 148. Схема разбивки вытягиваемого цилиндрического изделия на элементы при расчете размеров заготовки: а — изделие; б — заготовка; в — элементы изделия

Метод равенства объемов. Этим методом приходится пользоваться для случая вытяжки с утонением стенок изделия (при $s' < s$, $F' \neq F$).

Тогда для вытяжки цилиндра (рис. 148) имеем:

$$V' = V_d + V_6 = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} s + \pi d_{cp} (h + h') s' = V = \frac{\pi D^2}{4} s, \quad (148)$$

а

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h') \frac{s'}{s}}. \quad (149)$$

Аналогичным образом определяем размер заготовки для вытяжки изделия, составленного из n простых объемов (V_1, V_2, \dots, V_n), из зависимости

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi s} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)}. \quad (150)$$

Метод равенства весов. При наличии готового изделия проще определить размер заготовки из условия равенства весов: вес изделия G' (в г) равен весу заготовки G .

Тогда

$$D = \sqrt{\frac{4G'}{\pi s \gamma}} = 1,1284 \sqrt{\frac{G'}{s \gamma}}, \quad (151)$$

где s — толщина материала в см;

γ — удельный вес в г/см³.

При вытяжке полых тел вращения сложной формы размер заготовки определяют графо-аналитическим или графическим путем, пользуясь известной теоремой Гюльдена о нахождении поверхности тел вращения. Размеры и формы заготовки при вытяжке квадратных и прямоугольных коробок определяют графо-аналитическим путем [19; 42].

Определение числа операций и коэффициента вытяжки

При определении числа вытяжных операций следует главным образом исходить из того, чтобы максимально использовать пластические свойства штампуемого металла, так как это приводит к сокращению производственного цикла, а следовательно, увеличению выпуска изделий и снижению их себестоимости.

Однако чрезмерное сокращение числа операций может привести к сильному упрочнению (наклепу) металла, что повлечет за собой появление трещин и разрывов на изделиях. Поэтому в каждом отдельном случае следует установить оптимальное число операций, которое предопределяется правильным выбором коэффициента вытяжки.

Коэффициентом вытяжки для полых тел вращения называют отношение последующего диаметра к предыдущему диаметру заготовки или полуфабриката.

Для первой операции он выражается отношением

$$m_1 = \frac{d_1}{D}; \quad (152)$$

для последующих операций

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad m_3 = \frac{d_3}{d_2}; \dots; \quad m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}, \quad (153)$$

где d_1, d_2, \dots, d_{n-1} — диаметры первой и промежуточных полых цилиндрических заготовок в мм;
 d_n — диаметр готового изделия (диаметр последней вытяжки) в мм.

Следовательно, величина коэффициента вытяжки всегда будет меньше единицы, т. е.

$$m_1, m_2, m_3, \dots, m_n < 1,0.$$

Величина, обратная коэффициенту вытяжки k , характеризует степень деформации или степень вытяжки (коэффициент сокращения диаметра) и выражается отношением

$$k_1 = \frac{1}{m_1} = \frac{D}{d_1}, \quad (154)$$

а для последующих операций

$$k_2 = \frac{d_1}{d_2}; \quad k_3 = \frac{d_2}{d_3}, \dots, \quad k_n = \frac{d_{n-1}}{d_n}. \quad (155)$$

Следовательно, $k_1, k_2, \dots, k_n > 1,0$.

Коэффициенты вытяжки на последующих операциях в случае применения промежуточного отжига могут быть взяты примерно одинаковыми, т. е.

$$m_2 = m_3 = \dots = m_{n-1} = m_n = m' = \frac{d_n}{d_{n-1}}.$$

При более точных расчетах и особенно для случаев вытяжки без отжига, например при работе на многопозиционных штампах и на многоступенчатых (многопозиционных) прессах, коэффициент вытяжки следует увеличивать от вытяжки к вытяжке, т. е.

$$m_1 < m_2 < m_3 < \dots < m_{n-1} < m_n \text{ и тогда } k \rightarrow 1,0.$$

Коэффициент вытяжки зависит от следующих основных факторов: механических свойств металла, величины зерна и состояния поверхности, толщины s и относительной толщины материала $\left(\frac{s}{D} \cdot 100\% \text{ или } \frac{s}{d_{n-1}} \cdot 100\%\right)$, диаметра и формы вытягиваемого изделия, способа вытяжки (с прижимом или без него), числа и порядкового номера операций вытяжки, скорости вытяжки в начале и в конце процесса, радиусов закругления кромок матрицы и пуансона $r_{\text{ж}}$ и r_n и зазора между ними, материала вытяжного

штампа (сталь или чугун) и состояния поверхности его рабочих частей, рода и степени смазки.

Коэффициенты вытяжки в зависимости от вышеперечисленных факторов обычно устанавливают на основании опыта, задаваясь их средними или крайними величинами. В табл. 3 приведены значения коэффициентов вытяжки для стали глубокой вытяжки марок 08, 10Г и 15Г, мягкой латуни Л62 и алюминия в зависимости от относительной толщины (характеризующей геометриче-

ское подобие заготовок) $\frac{s}{D} \times$

$\times 100$ или $\frac{s}{d_{n-1}} \cdot 100$, радиусов закруглений матрицы и пуансона для первой и последующих операций при работе с прижимом без фланца [19; 42]. Меньшие значения коэффициентов вытяжки соответствуют большей величине радиусов закруглений на первых операциях ($r_m = 8-10 s$), а большие значения — меньшей величине ($r_m = 6-8 s$). Для стали марок 05, 08ВГ и 10ВГ, латуни Л68 значения коэффициентов можно брать на 1,5—2% меньше, а для стали марок Ст.2, Ст.3, декарпированной стали, сталей 15—20 и средней твердости латуни — на 1,5—2,0% больше табличных данных.

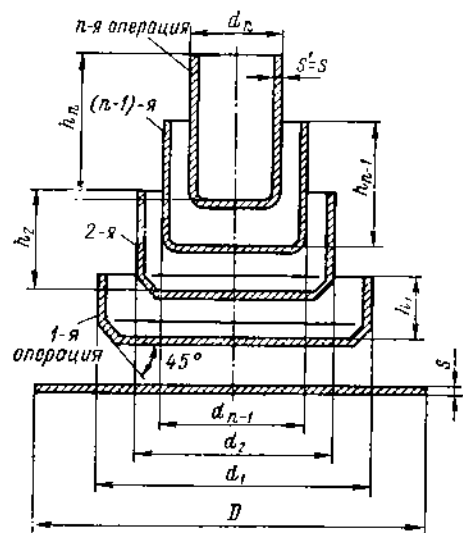


Рис. 149. Схема получения полого изделия диаметром d_n и высотой h_n из плоской заготовки D

В случае применения межоперационных отжигов коэффициенты вытяжки на последующих операциях можно брать на 2—3% меньше. При вытяжке без прижима коэффициенты вытяжки следует увеличить на 15—20% по сравнению с табличными данными [19].

Число вытяжных операций n для изготовления цилиндра с диаметром d_n и высотой h_n из плоской заготовки диаметром D (рис. 149) можно установить используя вышеприведенные зависимости, а именно:

$$d_1 = m_1 D;$$

$$d_2 = m_2 d_1 = m' d_1 = m' (m_1 D);$$

$$d_3 = m_3 d_2 = m' d_2 = m'^2 (m_1 D);$$

$$d_n = m_n d_{n-1} = m' d_{n-1} = m'^{n-1} (m_1 D),$$

откуда, прологарифмировав последнее уравнение, получим

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg (m_1 D)}{\lg m'} \quad (156)$$

Значения коэффициентов m_1 и m' (m_2, m_3, \dots, m_n) в приведенной формуле берут по табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца
(при работе с прижимом)

Коэф- фициенты вытяжки	Относительная толщина заготовки $\frac{s}{D} \cdot 100$ в %				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15
m_1	0,48—0,50	0,50—0,53	0,53—0,55	0,55—0,58	0,58—0,60
m_2	0,73—0,75	0,75—0,76	0,76—0,78	0,78—0,79	0,79—0,80
m_3	0,76—0,78	0,78—0,79	0,79—0,80	0,80—0,81	0,81—0,82
m_4	0,78—0,80	0,80—0,81	0,81—0,82	0,82—0,83	0,83—0,85
m_5	0,80—0,82	0,82—0,84	0,74—0,85	0,85—0,86	0,86—0,87

Расчет числа операций при вытяжке с утонением производят исходя из допустимой степени деформации (или допустимого утонения стенок) за одну операцию.

Степень деформации для первой операции вытяжки из полой заготовки определяют так:

$$K_1 = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% \approx \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100\%, \quad (157)$$

а для последующей n -й операции

$$K_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} \cdot 100\% \approx \frac{s_{n-1} - s_n}{s_{n-1}} \cdot 100\%. \quad (158)$$

Коэффициент вытяжки с утонением считают для первой операции

$$m_{1ym} = \frac{F_1}{F_0} \approx \frac{s_1}{s_0}, \quad (159)$$

а для любой n -й операции

$$m_{nym} = \frac{F_n}{F_{n-1}} \approx \frac{s_n}{s_{n-1}}. \quad (160)$$

Здесь $F_0; F_{n-1}$ — площадь поперечного сечения полой цилиндрической заготовки до первой или n -й операции вытяжки;

$F_1; F_n$ — площадь поперечного сечения изделия после первой и n -й операции вытяжки;

$s_0; s_1; s_{n-1}; s_n$ — соответственно толщина стенки (полой) заготовки и изделия.

Степень деформации для первой вытяжки K_1 (в %) для мягкой стали равна 55—60, для латуни Л62 и Л68 60—70, для алюминия АД1 60—65; степень деформации для последующих операций K_n соответственно равна для стали 35—45, для латуни 50—60, для алюминия 40—45.

Усилие при вытяжке

Аналитически усилие вытяжки можно определить, умножив площадь поперечного сечения вытягиваемого изделия $F_1 = \pi (d'_1 + s) s$ (считая $d'_1 + s$ по среднему диаметру) на величину напряжения вытягивания σ_{am} или удельное давление течения p_1 , которое определяется на основе теории пластичности из анализа напряженно-деформированного состояния металла при вытяжке [10; 32; 19; 63]. При этом максимальное усилие вытяжки будет близко к концу хода пресса.

Максимальное усилие вытяжки на первой операции P_1 в кГ (н) можно определить из выражения [19; 10]

$$P_1 = \pi (d'_1 + s) s p_1 = \pi (d'_1 + s) s \times \\ \times \left[\beta \sigma_{\partial cp} (1 + fA) \left(\ln \frac{R}{r_1} - fA \right) + \frac{fQ}{\pi R s} + \frac{s}{2r_{1.м} + s} \sigma_s \right]. \quad (161)$$

Здесь $\sigma_{\partial cp} = S_{cp}$ — среднее сопротивление деформации с учетом упрочнения металла, определяемое по кривой упрочнения в кГ/мм² (Мн/м²);

A — геометрический параметр для первой операции вытяжки, равный $A = \frac{\pi}{2} - \frac{2a}{\sqrt{a^2 - 1}} \arctg \frac{a + 1}{\sqrt{a^2 - 1}}$,

где $a = 1 + \frac{d'_1 + s}{2r_{1.м} + s}$;

$r_{1.м}$ — радиус закругления матрицы;

β — коэффициент, равный 1,10—1,15;

f — коэффициент трения;

Q — давление прижима в кГ (н), определяемое по формулам (166)—(167).

Однако на практике такой подсчет усилия вытяжки по приведенному методу представляет большое затруднение. Поэтому пользуются упрощенными и эмпирическими выражениями. Усилие вытяжки на первой операции (без утонения стенок)

$$P_1 = 1,25 k \pi s \sigma_s (D - d_1); \quad (162)$$

на последующих операциях вытяжки с диаметрами d_{n-1} и d_n

$$P_n = 1,30 k \pi s \sigma_s (d_{n-1} - d_n), \quad (163)$$

где k — коэффициент, учитывающий дополнительное усилие, потребное для проталкивания изделия через матрицу. В зависимости от условий вытяжки (радиуса закругления, величины зазора, степени смазки и т. д.) коэффициент $k = 1,2 \div 1,3$.

При вытяжке с утонением стенок изделия усилие для вытяжки можно определить аналитически, а также пользуясь упрощенными и эмпирическими формулами. В качестве одной из эмпирических формул приведем следующую:

$$P_{ym} = \pi d_1 s_i \sigma_{ym}, \quad (164)$$

где d_1 — диаметр изделия после вытяжки в мм;

s_i — величина утонения стенок, равная $s - s'$ в мм;

σ_{ym} — сопротивление деформации при вытяжке с утонением, которое принимается: для стали $\sigma_{ym} = (1,8 \div 2,25) \sigma_s$, для латуни $\sigma_{ym} = (1,6 \div 1,8) \sigma_s$.

При работе на кривошипных прессах простого действия с пружинным (резиновым) буфером или с пневматическим устройством (пневматической подушкой) для определения общего усилия пресса к усилию вытяжки P следует также прибавить давление прижима Q , т. е.

$$P_{полн} = P + Q. \quad (165)$$

Давление прижима можно определить по формуле

$$Q = Fq, \quad (166)$$

где F — площадь прижима в начальный момент вытяжки в мм²;
 q — удельное давление (удельное усилие) в кг/мм² (Мн/м²), зависящее от рода и толщины материала (для более тонких листов требуется более высокое значение q) и от коэффициента вытяжки m , которое берется:

Для алюминия АД1	0,08—0,12
Для дуралюмина Д16АТ	0,14—0,18
Для меди	0,12—0,18
Для латуни	0,15—0,20
Для стали:	
при $s > 0,5$ мм	0,20—0,25
при $s < 0,5$ мм	0,25—0,30

При вытяжке цилиндрических изделий площадью прижима будет площадь кольца, тогда

$$Q = \frac{\pi}{4} [D^2 - (d_1 + 2r_m)^2] q, \quad (167)$$

при $D > d_1 + 2r_m$.

Радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона и зазоры между ними

Радиусы закругления и зазоры оказывают существенное влияние на процесс вытяжки. Они влияют на усилие вытяжки, качество изделия, число вытяжных операций, а также на стойкость штампа. На практике нужно брать наимыгоднейший — оптимальный радиус закругления, т. е. такой наибольший радиус, при котором складки не образуются.

Радиусы закругления выбирают в зависимости от рода и толщины материала, коэффициента вытяжки, порядкового номера вытяжной операции. С учетом вышеуказанных факторов радиус закругления матрицы устанавливают по следующим зависимостям: для стали при s до 3 мм $r_m = 10 \div 6s$, при s от 3 до 6 мм $r_m = 6 \div 4s$, при s от 6 до 20 мм $r_m = 4 \div 2s$; для цветных металлов (медь, латунь, алюминий) при s до 3 мм $r_m = 8 \div 5s$, при s от 3 до 6 мм $r_m = 5 \div 3s$, при s от 6 до 20 мм $r_m = 3 \div 1,5s$.

Для первой вытяжной операции и более тонкого материала (при $\frac{s}{D} \cdot 100 = 1,0 - 0,3\%$) следует брать приведенные значения ближе к верхнему пределу, а для последующих вытяжных операций и более толстого материала (при $\frac{s}{D} \cdot 100$ и $\frac{s}{d_{n-1}} \cdot 100 = 2,0 - 1,0\%$) — ближе к нижнему пределу. Обычно для последующих операций принимают

$$r_{n,m} \approx (0,7 - 0,8) r_{n-1,m} \quad (168)$$

Радиус закругления пуансона r_n для всех вытяжных операций, кроме последней, берут равным радиусу закругления матрицы; для последней операции вытяжки r_n берут равным внутреннему радиусу вытягиваемого изделия, но не менее $(3 \div 2)s$ для материалов толщиной до 6 мм и не менее $(2 \div 1,5)s$ для материалов толщиной от 6 до 20 мм.

Величину зазора z_a также выбирают исходя из оптимального его значения, т. е. берут такой наибольший зазор, при котором образования складок не будет.

Для первой вытяжной операции зазор на одну сторону z_a берут равным для стали $(1,35 \div 1,50)s$, для цветных металлов $(1,30 \div 1,40)s$; для последующих операций z_a соответственно равен для стали $(1,20 \div 1,30)s$, для цветных металлов $(1,20 \div 1,25)s$; для последней же операции z_a равен $(1,10 \div 1,20)s$. При вытяжке низких изделий ($h < 0,8d$) зазор берут меньше, чем при вытяжке глубоких изделий ($h > d$).

Если последняя операция является калибрующей, то зазор берут близким к толщине заготовки, чем достигается достаточная точность и гладкая поверхность изделия. Для случая вытяжки с утонением зазор $z_{a,ym}$ берут равным $(0,85 \div 0,65)s$.

Направление зазора устанавливают из следующих соображений. Для первых вытяжных операций принципиально безразлично, за счет чего делают зазор (матрицы или пуансона). Для последней же операции, где требуется получить окончательные размеры изделия, зазор создается за счет тела пуансона, когда требуется выдержать (по чертежу) наружный размер, и за счет тела матрицы, если необходимо получить внутренний размер.

Пример. Требуется вытянуть цилиндрический стакан (колпак) с сопряжением боковых стенок и дна под углом в $90^\circ \left(\frac{\pi}{2} \text{ рад} \right)$ из стали 10 толщиной $s = 1 \text{ мм}$, $\sigma_s = 35 \text{ кг/мм}^2$ (350 МН/мм^2). Изделие имеет следующие размеры: $d_n = 80 \text{ мм}$; $h = 140 \text{ мм}$; $h' = 6 \text{ мм}$; $H = 147 \text{ мм}$. Определить диаметр заготовки, число операций и диаметры переходов, усилие вытяжки, радиусы закруглений и зазоры.

Диаметр заготовки определяем по формуле (146)

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h')} = \sqrt{79^2 + 4 \cdot 79(140 + 6)} = 230 \text{ мм}.$$

Диаметры цилиндров по переходам и число операций определяем (предварительно выбрав коэффициенты вытяжки по табл. 3) из зависимостей:

$$d_1 = m_1 D = 0,55 \cdot 230 = 127 \text{ мм};$$

$$d_2 = m_2 d_1 = 0,75 \cdot 127 = 96 \text{ мм};$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0,80 \cdot 96 = 77 \text{ мм}.$$

Так как последний диаметр d_3 получился по расчету равным 77 мм (меньше требуемого $d_{3cp} = 79 \text{ мм}$), то колпак можно вытянуть за три операции.

Усилие вытяжки для первой операции определяем по формуле (162).

$$P = 1,25 k p \sigma_s (D - d_1) = 1,25 \cdot 1,3 \cdot 3,14 \cdot 1,35 (230 - 127) \approx 18\,500 \text{ кг} (185\,000 \text{ Н}).$$

Радиус закругления матрицы для первой операции $r_{1м} = 8s = 8 \text{ мм}$; для последней $r_{3м} = 6s = 6 \text{ мм}$.

Зазор между матрицей и пуансоном (на одну сторону) для первой операции $z_{10} = 1,40s = 1,40 \text{ мм}$; для последней $z_{30} = 1,20s = 1,20 \text{ мм}$.

Отжиг при вытяжке

При вытяжке изделий происходит упрочнение (наклеп) металла, проявляющееся в повышении прочности и твердости его и снижении пластических свойств. Для восстановления первоначальных свойств металла с целью проведения последующих операций вытяжки применяют термическую обработку — отжиг. Применяют высоко- и низкотемпературный отжиг.

Как показали последние исследования, для случая многооперационного вытяжного процесса наилучшие результаты дает низкотемпературный отжиг, т. е. при температурах ниже критической точки [10; 19].

Для деталей из тонких стальных материалов ($s < 2 \text{ мм}$) температура отжига составляет $600\text{—}650^\circ$; для деталей из более толстого металла — $650\text{—}700^\circ$. Этот же интервал ($600\text{—}700^\circ$) может быть рекомендован не только для межоперационных отжигов, но и для отжига готового изделия.

При вытяжке изделий из цветных металлов также лучше применять низкотемпературный промежуточный отжиг. Для медных штампованных изделий температура отжига составляет $400\text{—}450^\circ$, для латунных — $500\text{—}540^\circ$. Температура отжига никеля — $750\text{—}850^\circ$. Алюминиевые изделия отжигают (после трех-четырех операций) при температуре $230\text{—}250^\circ$, продолжительность $40\text{—}45 \text{ мин}$.

Дуралюмин отжигают при температуре 400—420° с охлаждением в печи до 280° со скоростью 30° в час и последующим охлаждением на воздухе. Время отжига колеблется от 20 до 90 мин в зависимости от условий работы.

Отжиг осуществляется в электрических печах обычного или шахтного типа. Для улучшения качества штампуемых изделий на многих заводах применяют безокислительный (светлый) отжиг в атмосфере водорода, азота, паров воды и т. п.

Для осуществления местного отжига наиболее наклепанной части полуфабриката (у верхней его кромки) следует применять индукционный нагрев токами нормальной частоты. После отжига изделий для снятия с них окалины производят травление в слабых растворах кислот с последующей промывкой в горячей и холодной воде, нейтрализацией в слабом щелочном растворе и сушкой в специальных устройствах. Широко применяется и электролитическое травление.

Смазка при вытяжке

Для уменьшения трения между заготовкой, прижимным кольцом и рабочей поверхностью матрицы вытяжного штампа, а также с целью облегчения съема или выталкивания изделия из штампа применяют смазку заготовки и штампа. Кроме этого, смазка, охлаждая штамп, способствует повышению его стойкости. В качестве смазочного материала применяют различные вещества: мыльная вода, машинное и сурепное масло, вазелин, сало, графит, тальк, а также их смеси в различных пропорциях.

Смазки бывают без наполнителей и с наполнителями в виде порошка (мела, талька, графита и т. п.). Для малоуглеродистой стали наилучшие результаты при вытяжке дают смазки с наполнителем следующего состава: веретенное масло 3 52—54%, мыло-нафт 20%, тальк 18—20%, гипс формовочный 2,5% и древесная мука 5,5%. Для нержавеющей стали 1X18H9T в качестве смазки применяют хлорвиниловый лак ХВЛ21 или смазку такого состава: эмульсол 57%, порошкообразная сера 21,5%, остальное — вода; для нержавеющей стали 1X13, 2X13 — кашеобразную смесь из веретенного масла, графита, зеленого мыла и воды. Для меди, латуни и биметалла применяют сурепное масло, мыльную эмульсию, содержащую 7—10% мыла; для никеля и его сплавов — смесь крепкого мыльного раствора с минеральным маслом; для алюминия и его сплавов — машинное масло, технический вазелин.

Полосовой и ленточный материал смазывают войлочными валами, пропитанными маслом. Смазка крупных штучных заготовок производится погружением в бак со смазкой.

Удаление смазки с поверхности изделий после штамповки производят горячим обезжириванием или электролитическим обезжириванием в щелочном растворе, а также вручную, протиркой мягкими тряпками.

§ 53. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ

В зависимости от характера выполняемой операции вытяжные штампы можно разделить на две основные группы:

1) штампы для первой вытяжной операции; 2) штампы для второй и последующих вытяжных операций. Далее, в зависимости от типа оборудования, на котором штампы установлены и будут работать, их разделяют на штампы для прессов простого действия и штампы для прессов двойного и тройного действия.

При работе на прессе простого действия указанные штампы могут быть без прижима и с прижимным устройством (пружинным, резиновым буфером, пневматическим, гидropневматическим и т. д.).

По совмещенности операции вытяжные штампы бывают простые, комбинированные и специальные. Здесь рассматриваются простые и комбинированные штампы.

Штампы для первой вытяжной операции

При изготовлении неглубоких полых изделий, а также при вытяжке из толстого материала, где нет опасения образования складок, применяют штампы без прижимного устройства. Конструкции этих штампов чрезвычайно просты. Они состоят из матрицы, закрепленной на нижней плите, и пуансона, который снизу имеет закругленные рабочие кромки, а сверху — хвостовик для закрепления в ползуне пресса.

При вытяжке глубоких изделий из тонкого материала (когда $\frac{s}{D} \cdot 100 < 1,5$) для предотвращения образования складок следует работать на штампах с прижимным устройством. Прижимное устройство с пружиной или резиной при вытяжке небольших изделий размещают в верхней части штампа. При вытяжке же изделий значительных размеров и толщины необходимо создавать большое давление прижима, которое может быть обеспечено только пружинами больших размеров. Подобное буферное устройство помещают вне штампа, под его нижней плитой.

Большим недостатком пружинных или резиновых буферов является то, что они не обеспечивают равномерного давления прижима в процессе вытяжки. Между тем с технологической стороны весьма важно иметь постоянное давление прижима. Данному требованию лучше всего удовлетворяют пневматические или гидropневматические устройства (подушки). Они позволяют легко отрегулировать давление по показаниям манометра. Подобные устройства обычно заключены в нижнюю часть пресса и являются универсальными.

На рис. 150, а приведена схема вытяжного штампа для первой операции с пневматической подушкой [41]. Вытяжной пуансон 10 в этом случае размещается в нижней части штампа и закрепляется на плите 2, а вытяжная матрица 4, закрепленная на плите 5,

установлена в верхней части штампа. Там же помещается и выталкиватель 8, действующий от пресса или от пружин 7. Давление на прижимное кольцо 3 передается от пневматической подушки 1 через два или четыре штыря 11. Давление воздуха в подушке составляет 4—5 ат.

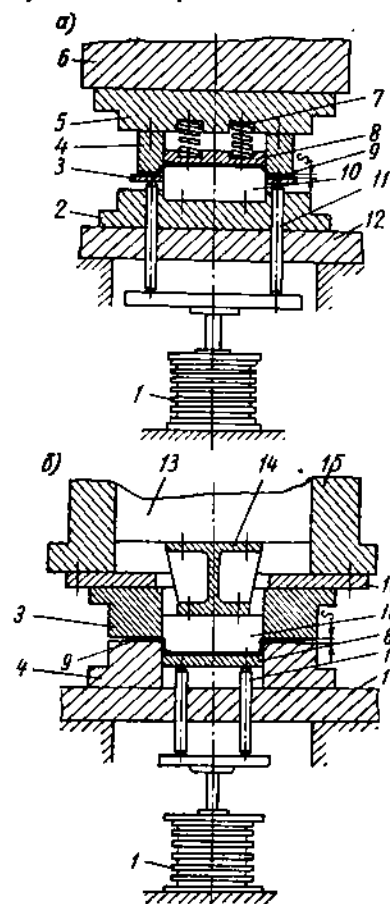


Рис. 150. Схемы штампов для вытяжки с прижимом на первой операции

При ходе ползуна пресса 6 вниз матрица своим торцом прижимает заготовку 9 к прижимному кольцу 3 и перемещается вместе с ним, вследствие чего заготовка постепенно выскальзывает из-под прижима и обтягивается вокруг пуансона, образуя колпак. Штамп устанавливается и закрепляется на настольной плите пресса 12 при помощи планок и болтов.

При работе на прессе двойного действия, имеющем два ползуна (наружный и внутренний), конструкция вытяжного штампа, работающая по принципу «на провал», значительно упрощается. Подобная схема штампа была представлена на рис. 147, а. Конструкция штампа с нижним выталкивателем показана на рис. 150, б. На рисунке дополнительно показаны внутренний ползун 13, переходная плита 14, наружный ползун 15 и упорная плита 16.

Штампы для последующих вытяжных операций

Эти штампы, так же как и штампы для первой вытяжной операции, могут быть без прижима и с прижимным устройством для прессов простого и двойного действия. Вытяжные штампы без

прижима применяют для небольшого уменьшения диаметра, а также при штамповке изделий из толстого материала (когда $\frac{s}{d_{n-1}} > 2,0$). По конструкции они совершенно сходны со штампами для первой операции, только форма и размеры фиксатора должны соответствовать размерам полой заготовки, полученной на первой операции. Их устанавливают на кривошипных прессах простого действия с большим ходом ползуна.

В большинстве же случаев применяют штампы с прижимом, что обеспечивает повышенное качество изделий.

Схемы штампов для второй и последующих вытяжных операций без прижима на прессе простого действия представлены на рис. 146, а, а штампы с прижимом (на прессе) двойного действия — на рис. 147, б.

При вытяжке сложных крупногабаритных деталей применяются прессы тройного действия, позволяющие производить вытяжку в разных направлениях (вверх и вниз). Вытяжку мелких полых изделий производят на прессах простого действия при помощи последовательно действующих вытяжных штампов прямо из ленты с выразкой перемычек или на многопозиционных прессах — автоматах, где полые заготовки перемещаются с позиции на позицию автоматически при помощи специальных грейферов.

Комбинированные вытяжные штампы

Комбинированные штампы также могут быть приспособлены к прессам простого и двойного действия.

На рис. 151 показан штамп для одновременной вырубки и вытяжки на прессе простого действия детали, показанной в правом верхнем углу. Здесь вытяжная матрица 1, закрепленная на верх-

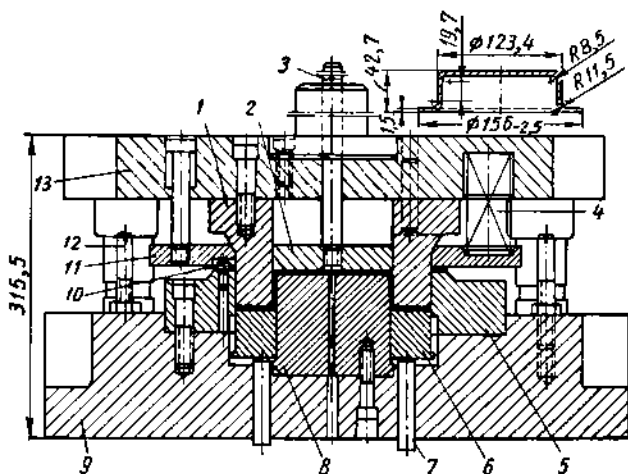


Рис. 151. Комбинированный штамп для вырубки и вытяжки к прессу простого действия

ней части штампа, является одновременно и вырубным пуансоном. В нижней части штампа кроме обычного вытяжного пуансона 8 и прижимного кольца 6, перемещающегося от буферного (пружинного или резинового) или пневматического устройства при помощи стержней 7, помещается вырубная матрица 5, закрепленная на нижней плите 9, с внутренним диаметром, равным диаметру

заготовки. Перед штамповкой полосу укладывают на поверхность матрицы 5 и, перемещая полосу по направляющим стержням 12, подводят ее до упора 10.

При опускании верхней части штампа вырубной пуансон 1 сначала производит вырубку заготовки, после чего прижимает ее к кольцу 6, а затем, по мере дальнейшего углубления пуансона, заготовка постепенно вытягивается из-под кольца и, плотно облекая вытяжной пуансон 8, принимает форму изделия. При обратном ходе ползуна изделие выбрасывается из верхней части штампа выталкивателем 2, действующим от пресса через толкатель 3. С вырубного пуансона 1 полоса снимается съемником 11, работающим от пружин 4, размещенных в углублениях верхней плиты 13. Комбинированные штампы к прессам двойного действия по конструкции проще, чем к прессам простого действия. В прессах двойного действия вырубной пуансон прикрепляется к наружному ползуну, а вытяжной — к внутреннему. Вырубная и вытяжная матрицы укрепляются внизу — на настольной плите пресса. Штамп работает «на провал» [19; 20; 26].

Материалы для вытяжных штампов приводятся в § 54.

§ 54. ФОРМОВОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ.

МАТЕРИАЛЫ ШТАМПОВ ДЛЯ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

Виды формовочных операций

К формовочным операциям относятся: фасонная (рельефная) штамповка, отбортовка, формовка, обжим и раздача.

Фасонная (рельефная) штамповка. Рельефной штамповке в большинстве случаев подвергаются плоские заготовки с целью получения в них различных углублений, выступов, ребер жесткости и т. п., при этом толщина металла остается почти без изменений (рис. 152, а). Фасонной штамповкой можно также считать и неглубокую вытяжку (пуклевку), когда края вытянутой детали не выходят за пределы кромок матрицы (рис. 152, б). Она может выполняться либо как отдельная операция, либо в комбинации с другими операциями, например с вырубкой, вытяжкой и т. д. В отдельных случаях рельефную штамповку из тонкого материала осуществляют применяя резину.

Отбортовка. Сущность отбортовки заключается в образовании в плоском или полом изделии с предварительно пробитым отверстием d (иногда и без него) отверстия большего размера D с цилиндрическими или иными бортами высотой H и радиусом r (рис. 153).

Путем отбортовки получают различные изделия с большим диапазоном размеров (D от 3 до 1000 мм и более и s от 0,30 до 30 мм и более). Кроме того, при отбортовке часто достигается экономия штампуемого материала, а также сокращение числа операций, по сравнению с вариантом штамповки подобных же деталей путем вытяжки.

Формовка. Формовочные операции производятся обычно после вытяжки с целью получения окончательного профиля (формы) или более точных размеров изделия. К этим операциям относятся также формовка изнутри — выпучивание, при которой любое поперечное сечение изделия становится больше его верхнего конца.

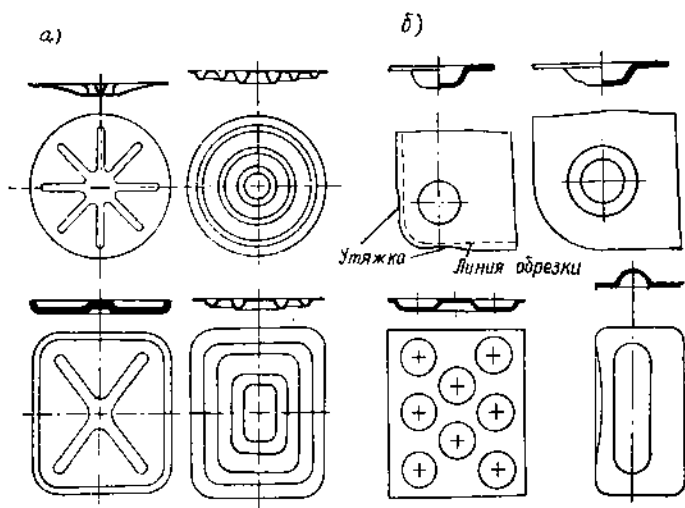


Рис. 152. Примеры рельефной штамповки

Штампы для формовки изнутри, как правило, состоят из разъемной матрицы и разжимного (механического, жидкостного или резинового) пуансона.

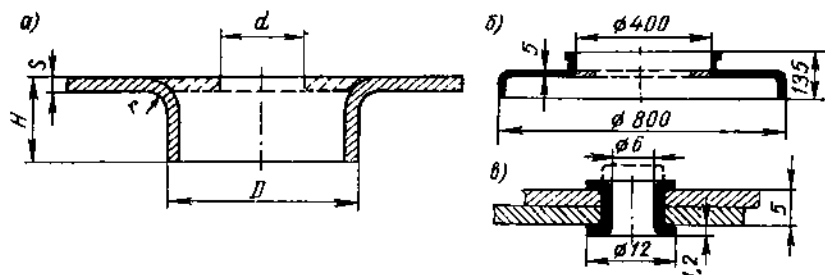


Рис. 153. Примеры операций отбортовки: а — в плоской заготовке; б — в котельном днище; в — при полый заклепке

Обжим. Обжим представляет собой операцию, при помощи которой уменьшается поперечное сечение открытого конца предварительно вытянутого полого изделия (рис. 154, а).

В отличие от формовки — выпучиванием изнутри — здесь для обжима полая заготовка вводится в неразъемную матрицу, имеющую форму готового изделия. При этом для предотвращения

образования складок внутрь заготовки вводится расправочный стержень — пуансон. Операцию обжима можно осуществлять и на токарно-давильных станках при помощи специальных разборно-обжимных патронов.

Раздача. Операция раздачи в отличие от обжима предназначена для увеличения диаметра краевой части полой цилиндрической заготовки или трубы и осуществляется путем постепенного внедрения в нее конического пуансона (рис. 154, б). Раздачей, в частности, производится закатка краев в штампе с целью получения наружного пояска [7].

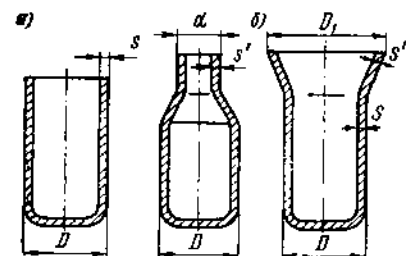


Рис. 154. Схема обжима и раздачи
 s — толщина стенки детали до обжима или раздачи; s' — толщина стенки детали у верхнего края после обжима ($s' > s$) или раздачи ($s' < s$)

производят также и на винтовых — фрикционных прессах.

Смазку для формовочных операций применяют такую же, как и для вытяжки. В зависимости от характера формовочной операции применяется и соответствующая конструкция штампа [19; 26; 28; 30].

Материалы штампов для формоизменяющих операций из листового материала (гибки, вытяжки и формовки) и их термическая обработка

Для гибочных, вытяжных и формовочных штампов самым важным является способность материала сопротивляться истиранию при значительных давлениях, т. е. обладать хорошей износостойчивостью.

При штамповке деталей простой формы рабочие детали штампа можно изготавливать из инструментальной стали марок У8А и У10А. При этом для штамповки из материала толщиной до 1 мм применяют сталь марки У8А, а при толщине до 3—4 мм — У10А. При штамповке деталей сложной формы при массовом производстве, а также в тех случаях, когда рабочие части штампа испытывают большие напряжения во время работы, следует применять легированные стали марок 9ХС, ХВГ, Х12М, Х12ТФ и Х12Ф1. Твердость инструмента после закалки при этом должна составлять HRC 58—62.

Для повышения твердости и износостойчивости вытяжных и формовочных штампов на рабочие части из углеродистой стали наносят слой хрома толщиной 0,01—0,02 мм, легированную сталь азотируют на глубину 0,2—0,3 мм.

Матрицы для вытяжки мелких деталей при массовом производстве, а также в случае вытяжки с утонением рекомендуется изготавливать в виде вставок — втулок или вкладышей из металло-керамических твердых сплавов ВК8, ВК12 — и впаивать или впрессовывать их в специальные обоймы [20; 26].

При изготовлении крупных деталей в автотракторной промышленности для формоизменяющих операций широкое применение находят штампы, изготовленные из специальных чугунов примерно следующего химического состава (в %): 3,0—3,3 С; 1,6—2,2 Si; 1,6—2,0 Ni; 0,8—1,1 Cr; 0,6—1,0 Mn; до 0,3 Р; до 0,1 S. Эти чугуны закаляются в масле с температурой 850° и отпускаются при 350°. Твердость их *НВ* 350.

§ 55. ПРЕССОВОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

К прессовочным операциям из листового материала относятся следующие: чеканка, клеймение (маркировка), разметка (кернение) и холодное выдавливание.

Все эти операции основаны на перераспределении и перемещении части или всего объема металла заготовки в процессе штамповки. Они характеризуются общностью схемы напряженного состояния, представляющей неравномерное объемное сжатие.

Чеканка — это штамповочная операция, при которой происходит изменение формы изделия, большей частью плоского, между верхней и нижней частями штампа. При этом материал изменяет свою толщину и вследствие перемещения заполняет все углубления на поверхности штампа. Чеканка в листовой штамповке применяется главным образом для изготовления монет, орденов, медалей, а также художественных изделий и предметов народного потребления (часовых деталей, столовых приборов и др.). Чеканка применяется и в комбинации с другими операциями (вытяжкой, отбортовкой и др.).

Достижимая точность размеров при обычной чеканке лежит в пределах $\pm 0,10$ мм, а при повышенной — $\pm 0,05$ мм. Удельное давление (удельное усилие) при чеканке в зависимости от рода материала и характера операции составляет 120—300 кг/мм² (1200—3000 Мн/м²).

Операции клеймения (маркировки) аналогичные операциям чеканки, но глубина распространяемой деформации в металл у них меньше, вследствие чего они требуют меньших удельных давлений, достигающих 100—180 кг/мм² (1000—1800 Мн/м²).

Чеканка и клеймение несложных деталей производится на кривошипных или на винтовых — фрикционных прессах. В массовом производстве чаще всего используются кривошипно-коленные чеканочные прессы.

Разметка (кернение) производится в основном в приборостроении и часовом производстве для разметки мелких отверстий перед сверлением.

Операции холодного выдавливания были рассмотрены уже выше (гл. VII).

Рабочие части штампов для прессовочных операций изготовляются из следующих материалов: пуансоны из стали марок У10А, Х12, Х12ТФ, 7ХГ2ВФМ, твердость после закалки *HRC* 58—62; матрицы из стали марок У10А, ШХ15, Х12М, Х12ТФ, Х12Ф1, ХГЗСВФМ; *HRC* 60—62.

§ 56. КОМБИНИРОВАННЫЕ, ШТАМПО-СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ШТАМПО-СВАРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Комбинированная штамповка

В целях увеличения производительности и уменьшения количества штампов и прессов вместо обычно раздельной штамповки применяется комбинированная штамповка, заключающаяся в объединении нескольких операций в одном и том же штампе. По этому принципу можно объединить как несколько операций одной и той же группы (отрезка и пробивка, вырубка и пробивка и т. д.), так и несколько операций различных групп (отрезка и гибка, вырубка и вытяжка, вытяжка и формовка и т. д.).

Объединение операций можно осуществить либо в штампах последовательного действия, в которых все необходимые операции (переходы) производятся последовательно, на протяжении нескольких ходов пресса, а при установившемся режиме за каждый ход пресса получается готовая деталь, либо в штампах совмещенного действия, в которых все операции производятся одновременно, за каждый ход пресса.

Штампо-сборочные операции

Холодная листовая штамповка получила большое применение для сборки различных деталей. Методы сборки деталей штамповкой основаны на применении операций (деформаций) гибки, отбор-

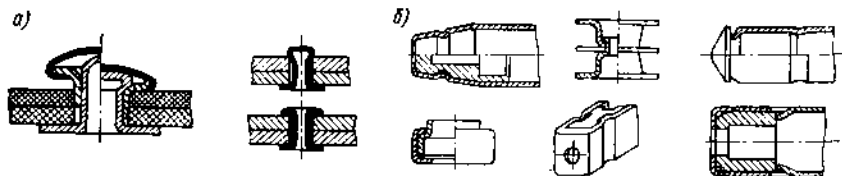


Рис. 155. Способы сборки

товки, раздачи или развальцовки и их комбинации. Большинство из них дает довольно прочное неразъемное соединение. На рис. 155, а показаны способы соединения двух металлических и неметаллических листов (деталей) при помощи пустотелых заклепок, а на рис. 155, б — способы соединения штампованных деталей гибкой и обжимкой.

Штампо-сварные конструкции

В машино- и вагоностроении, в автотракторной промышленности средние и крупные детали сложной формы обычно изготавливаются из литых и кованных заготовок с последующей обработкой их на станках резанием при больших припусках на обработку.

Современное состояние штамповочной и сварочной техники позволяет применить более прогрессивные методы получения

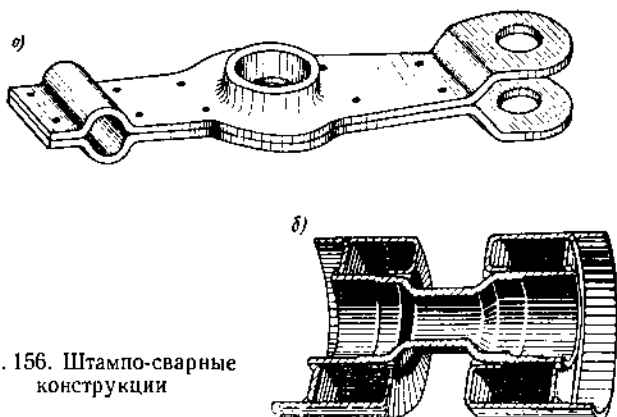


Рис. 156. Штампо-сварные конструкции

деталей: заменить литые и кованные детали штампованными и штампо-сварными, что во многих случаях оказывается более выгодным [19; 30]. На рис. 156, *а* показан рычаг, изготовленный из двух штампованных половин, соединенных точечной сваркой, а на рис. 156, *б* — штампо-сварной ролик гусеничного трактора. Применение штампо-сварного ролика вместо первоначальной литой конструкции дало экономию стали на 38% и снизило станочную обработку на 90%.

В последнее время для сборки (соединения) листовых деталей из цветных металлов и их сплавов стали применять метод холодной пластической сварки. Толщина материала может быть от 1,5 до 10 мм.

§ 57. ГОРЯЧАЯ ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

Процесс горячей листовой штамповки (толстолистового металла)

В паровозо-, судо- и тракторостроении и в ряде специальных отраслей машиностроения встречается много деталей, изготавливаемых из листов толщиной 20—50 мм и даже выше. Комбинирование со сваркой еще больше расширяет область применения горячей листовой штамповки.

Ввиду больших габаритов и толщин листов штамповать их в холодном состоянии не представляется возможным, так как это потребовало бы очень крупных (по давлению) прессов и массивных фундаментов. Для снижения потребных усилий и, следовательно, размеров необходимых прессов процесс целесообразно вести не в холодном, а в горячем состоянии. Изготовление деталей из некоторых специальных марок сталей, которые при деформировании в холодном состоянии способны давать трещины (это главным образом стали, богатые хромом), также приходится осуществлять в горячем состоянии даже из листов небольшой толщины (3—6 мм).

Температурный режим штамповки листов устанавливается в зависимости от рода материала. Для стали марок 15—50 начальная температура составляет 1250—1150°, конечная 870—830°, но не ниже 780°. Для легированной стали 40ХН, 20Н5 начальная температура составляет 1150—1170°, конечная 900°, но не ниже 800. В горячем виде производят вырубку, пробивку, гибку, вытяжку, отбортовку и другие операции. Для выполнения этих операций применяются кривошипные, винтовые фрикционные, гидравлические и парогидравлические прессы.

Штамповка цветных металлов и их сплавов с подогревом фланца

Малопластичные сплавы цветных металлов (алюминиевые, магниевые сплавы марок МА1, МА8 и др.) также приходится штамповать в горячем состоянии, в частности, с подогревом фланца при вытяжке. Одновременно с этим производится охлаждение стенок детали. Процессы местного нагрева и охлаждения значительно улучшают условия вытяжки (получение наибольшей пластичности во фланце и наибольшей прочности у донного закругления изделия). Эти условия лучше всего обеспечиваются электронагревом, при котором имеется возможность поддерживать постоянную температуру.

На рис. 157 представлены принципиальная (а) и конструктивная (б) штампа для вытяжки с подогревом фланца. Здесь матрица и прижимная плита штампа нагреваются при помощи трубчатых электронагревателей сопротивления, вмонтированных во внутреннюю их полость, а пуансон (диаметром d) охлаждается циркулирующей в нем проточной водой. Фланец заготовки (диаметром D), находясь между нагретыми поверхностями матрицы и прижима, принимает их температуру, и по мере перехода в вертикальную стенку охлаждается за счет отдачи тепла пуансону. Указанный способ вытяжки оказывается весьма эффективным при штамповке деталей сложной формы из алюминиевых и магниевых сплавов.

Установлено, что одна операция вытяжки с подогревом фланца цилиндрических деталей может заменить до трех, а прямоугольных — до пяти операций холодной вытяжки. Температура нагрева

алюминиевых сплавов марок АМ, АМцМ, Д16АМ составляет $310-340^{\circ}$, а магниевых сплавов марок МА1 и МА8 — $320-350^{\circ}$. Этот способ штамповки применяется также и для латуни марки Л62 при нагреве до температуры $470-500^{\circ}$, а для декапированной

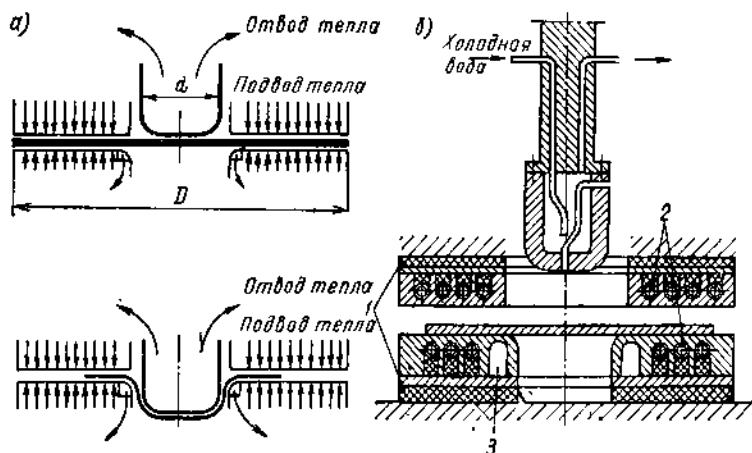


Рис. 157. Вытяжка с подогревом фланца заготовки:

1 — термоизолирующие прокладки; 2 — электронагреватели; 3 — сжатый воздух

стали и 08кп — при $550-570^{\circ}$. Титановые сплавы ВТ1 и ВТ2 штампуют при нагреве их до $350-400^{\circ}$, а ВТ4, ВТ14 — $550-700^{\circ}$.

В качестве оборудования используются обычные кривошипные или гидравлические прессы.

§ 58. ШТАМПОВКА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ И ОПЫТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В настоящее время листовая штамповка получила широкое распространение не только в массовом и крупносерийном производствах, но также в мелкосерийном и опытном производствах. Для этого разработаны новые разновидности (методы) листовой штамповки и созданы сравнительно простые и недорогостоящие штампы.

К новым разновидностям листовой штамповки, экономически оправдывающим себя даже в мелкосерийном и опытном производствах относятся: штамповка резиной; гидравлическая штамповка; штамповка (обтяжка) на обтяжных гидравлических прессах; штамповка при помощи штампов из пластмасс; групповые методы штамповки при помощи универсальных штампов, в том числе и штамповка по элементам; штамповка на универсальных гибочных станках; штамповка на падающих молотах; выдавливание

на токарно-давильных станках; высокоэнергетические — импульсные способы штамповки.

Ниже рассматриваются только основные из указанных видов штамповки.

Штамповка резиной

Штамповка резиной применяется как для разъединительных операций — вырезки наружного контура и вырезки отверстия, так и для формоизменяющих операций — гибки, вытяжки и формовки.

Вырезка металлов резиной. При вырезке наружного контура роль пуансона выполняет стальная пластина (шаблон—ширблок), а матрицы — резиновая подушка (толстая пластина), заключенная в металлический корпус (контейнер); при вырезке отверстий, наоборот, матрица стальная, пуансон резиновый. С помощью резины можно осуществить одновременную (совмещенную) вырезку наружного и внутреннего контуров и комбинированные операции — вырезку и формовку.

Резиной можно вырезать металлы толщиной: алюминий — до 1,5—2,0 мм, дуралюмин — до 1,3 мм, сталь — до 1,0 мм.

Штамповка резиной для формоизменяющих операций — гибки, вытяжки и формовки. Сущность штамповки резиной для осуществления указанных операций состоит в том, что один из формоизменяющих элементов штампа (матрица или пуансон) заменяется резиновой подушкой, заключенной в кожух—контейнер. Последний закрепляется на подвижной части пресса. Вторая часть штампа состоит из стального пуансона (формблока) или матрицы, имеющей внутренние размеры и конфигурацию штампуемой детали. Пуансон или матрица устанавливаются на подштамповой плите, закрепляемой на нижней плите пресса.

При рабочем ходе пресса резина, обжимая листовую заготовку, предварительно уложенную на нижнюю часть штампа, деформирует ее и придает ей форму пуансона или матрицы, а следовательно, и изделия. Штамповка резиной осуществляется на винтовых фрикционных и гидравлических прессах.

Штамповка (обтяжка) на обтяжных гидравлических прессах

Обтяжка на гидравлических прессах применяется при изготовлении небольших партий крупных деталей сравнительно простой формы из тонколистового материала, главным образом при изготовлении облицовочных деталей автомобилей, автобусов и троллейбусов. Обтяжка достигается путем растяжения металла по обтяжным болванам — деревянным или металлическим формам. В качестве заготовки здесь используется плоский лист или предварительно выгнутый профиль. Применяется также и кольцевая обтяжка, служащая для изготовления деталей замкнутой формы

из сваренной кольцевой заготовки. Формообразование производится разжимными секционными пуансонами.

Методом обтяжки получают детали из алюминиевых сплавов толщиной до 3,5 мм, а из малоуглеродистой и нержавеющей стали толщиной до 1,5 мм.

При штамповке деталей из магниевых сплавов металлические болваны при помощи вмонтированных в них электронагревателей нагревают до 250°.

Групповые методы штамповки

В условиях мелкосерийного производства наиболее рациональной формой построения технологических процессов с экономической стороны является групповая штамповка деталей с использованием универсальных групповых блоков и штампов и поэлементная штамповка.

Метод групповой обработки деталей был предложен и научно обоснован С. П. Митрофановым [31].

Групповая штамповка деталей. Сущность групповой обработки состоит в том, что все детали, предназначенные для штамповки, распределяются на группы, сходные по своим конструктивным и технологическим признакам. Детали каждой из этих групп могут обрабатываться на однопилном оборудовании универсальными штампами и блоками со сменными рабочими частями.

Групповой метод штамповки может применяться для получения любых деталей — как плоских, так и пространственных [19; 20; 55; 61]. Объединение деталей в группы увеличивает размеры обрабатываемых партий, поэтому для изготовления подобных деталей могут быть применены те же высокопроизводительные методы штамповки, что и в условиях массового и крупносерийного производства, с использованием средств механизации и автоматизации процессов.

При разработке технологического процесса для групповой штамповки следует иметь в виду, что группа является основной технологической единицей, в которую входят технологически однородные детали, на которые составляется групповая технология штамповки.

Штамповка листовых деталей по элементам. Как известно, контур любой детали может быть образован из отдельных простейших элементов — прямых и кривых линий.

Различные сочетания этих элементов создают большое разнообразие деталей как по конфигурации, так и по размерам. Имея набор универсальных однооперационных штампов (1—5), каждый из которых обрабатывает тот или иной элемент контура детали (рис. 158), можно отштамповать большое количество деталей различных типоразмеров. На этом принципе построен процесс штамповки деталей по элементам из штучных заготовок, осуществляемый при помощи однооперационных универсальных штампов,

которые выполняют отрезные, пробивные, обрезные, надрезные и гибочные операции.

Для осуществления штамповки по элементам В. М. Богдановым [4; 19] разработаны оригинальные конструкции универсальных штампов, снабженные специальными делительными устройствами, установочными планками и упорами, которые обеспечивают повышенную точность штамповки — вырубки (5—3-го класса точности) и быстроту переналадки их.

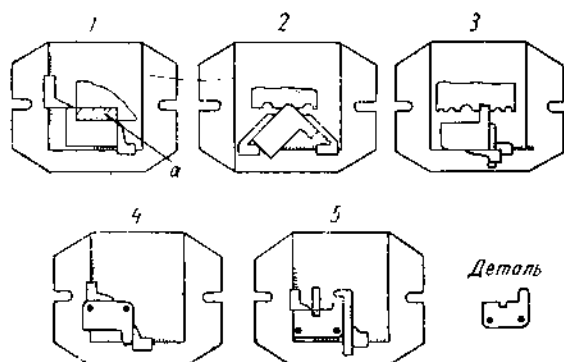


Рис. 158. Пример последовательной штамповки по элементам на универсальных штампах:

1 — вырубка уступа; 2 — обрезка угла по радиусу; 3 — скругление конца; 4 — пробивка двух отверстий; 5 — пробивка паза

В отличие от метода штамповки по элементам из штучных заготовок, А. М. Румянцевым предложен метод штамповки по элементам в полосе, которая автоматически передвигается на заданный шаг штамповки [4; 19; 28]. В качестве оборудования для поэлементной штамповки используются либо обычные кривошипные (эксцентриковые), либо специальные кривошипно-шарнирные прессы, позволяющие более точно регулировать величину хода пресса. Давление прессов составляет от 4 до 15—20 т (от 40 до 150—200 кН). Эти прессы расположены последовательно и образуют отдельную штамповочную линию.

Высокоэнергетические (импульсные) методы штамповки

При штамповке крупногабаритных деталей в мелкосерийном производстве, а также деталей сложной формы из высокопрочных и жаропрочных металлов (титановые сплавы, нержавеющие стали, сплавы на молибденовой основе и др.), изготовление которых обычным способом на прессовом оборудовании затруднительно, в последнее время в Советском Союзе и за рубежом [21; 37] стали применять новые высокоэнергетические (импульсные) методы

штамповки. К ним относятся: штамповка взрывом, гидроэлектрическая, газовзрывная и электромагнитная. Наибольшее применение в промышленности получила штамповка взрывом.

Штамповка взрывом может производиться в воздушной атмосфере и под водой — гидровзрывная штамповка. Гидровзрывной штамповкой можно осуществить различные технологические операции: вытяжку, формовку, образование фланцев, раздачу, калибровку и даже вырубку и пробивку.

При штамповке небольших деталей применяются закрытые штампы, которые могут быть установлены в стойках простого двух-стоечного пресса (без ползуна). Штамповка взрывом крупных деталей производится под водой в специальных установках, расположенных в изолированных помещениях, или на поле, вдали от промышленных предприятий.

§ 59. ШТАМПЫ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В мелкосерийном и опытном производствах получили применение два типа штампов: 1) упрощенные, используемые для вырубных (пробивных), гибочных, вытяжных и формовочных операций; 2) универсальные, в том числе и штампы для поэлементной штамповки, используемые для группового метода обработки деталей.

Упрощенные штампы

Для вырубных, пробивных и неглубоких формовочных операций применяются листовые пинцетные и пластинчатые штампы. Эти штампы имеют минимальное число простых вспомогательных деталей (направляющих, съемников, фиксаторов и т. д.), а рабочие части их (пуансоны и матрицы) изготавливаются из сравнительно тонких пластин, не требующих значительных затрат на их изготовление.

При помощи *пинцетных и пластинчатых штампов* вырубают детали из стали толщиной до 2,0—2,5 мм, а из цветных металлов — толщиной до 5—6 мм.

При изготовлении полых деталей, требующих операций вытяжки, формовки и отбортовки применяются дешевые и упрощенные штампы следующих типов:

- 1) литые алюминиево-цинковые и свинцово-цинковые штампы;
- 2) деревянные и деревянно-резиновые штампы, деревянные болваны и рамки;
- 3) бетонно-металлические штампы;
- 4) штампы для гидравлической штамповки;
- 5) штампы с применением резины;
- 6) штампы из пластмассы.

Указанные типы штампов применяются для изготовления крупногабаритных деталей сложной конфигурации из материалов толщиной до 1,5 мм при вытяжке и формовке облицовочных деталей автомобилей и автобусов, в авиационной промышленности, в вагоно- и судостроении. Конструкция и специфические особенности первых пяти типов штампов подробно освещены в литературе [18; 19; 26; 28; 30]. Здесь же приведем штампы из пластмасс.

Исходными материалами для изготовления *пластмассовых штампов* являются термоустойчивая феноловая смола, высокомолекулярные эпоксидные смолы ЭД5, ЭД6 и полиэтиленовые смолы.

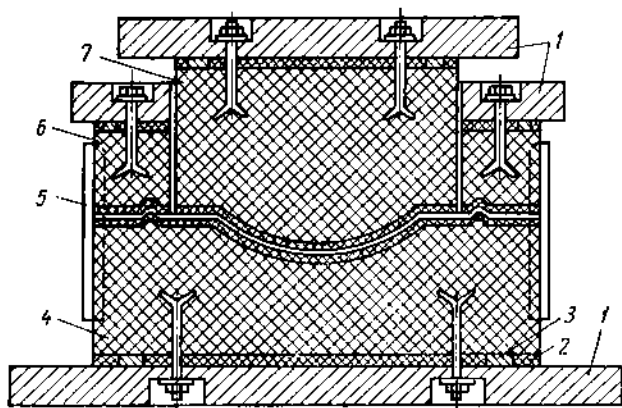


Рис. 159. Пластмассовый штамп из эпоксидных смол в собранном виде:

1 — стальные плиты; 2 — выравнивающий слой; 3 — подкладки;
4 — матрица; 5 — направляющая стальная полоса; 6 — прижим; 7 — пуансон

Основание (каркас) для пластмассовых штампов из феноловой смолы изготавливается из алюминиево-цинкового сплава или из серого чугуна, на которые наносится слой феноловой смолы толщиной от 50 до 100 мм (в зависимости от размеров и формы штампа). Штампы из эпоксидных смол изготавливаются трех типов: с литой облицовкой, со слоистотканевой облицовкой и монолитные.

Штампы для небольших деталей отливают целиком из пластмассы — монолитные. Штампы для крупных деталей изготавливают с литой облицовкой, сердцевину штампов делают из дешевой пластмассы (в нее входит наполнитель — кварцевый песок и фарфоровый порошок), на которую наносят облицовку из эпоксидной смолы толщиной 10—20 мм (рис. 159).

Штампы со слоистотканевой облицовкой получают путем наложения слоев из тканей и других материалов, пропитанных эпоксидной или феноловой смолой.

Из полиэтиленовых смол штампы получают путем выдавливания в смоле полости требуемой формы. Для этого пластмассовая

заготовка нагревается до 120° , в результате чего она размягчается и легко поддается выдавливанию.

Штампы из эпоксидных смол применяются для изготовления изделий из мягкой углеродистой, а также нержавеющей стали толщиной до 1,6 мм, из алюминия до 2 мм, титанового листа до 0,8 мм. Стойкость их составляет 10—20 тыс. штук деталей. Стоимость пластмассового штампа составляет 30—50% стоимости аналогичного стального штампа.

После армирования пластмассовых штампов стальными пластинами их можно использовать также и для вырубных работ [20]. При работе на штампах из эпоксидных смол следует предохранять работающих от вдыхания испаряющихся паров смолы.

Универсальные штампы

Универсальные штампы сочетают в себе универсальные блоки или пакеты, в которых закрепляются сменные рабочие части — пуансоны и матрицы, переставные упоры, направляющие линейки, делительные устройства и др. В универсальные блоки заправляются также и целиком сменные наладки.

На рис. 160 в качестве примера приведена типовая конструкция универсального штампа для вырубки углов и пазов, которая также используется и при штамповке по элементам. На нижней плите 6 закреплена опорная рама 7, по пазам которой можно перемещать до необходимого положения сменные подвижные планки — упоры 4 с вырезами (для крепежных болтов).

В соответствии с расположением этих упоров относительно пуансона 2 определяется необходимый размер требуемой вырубки угла или паза в заготовке 8. Пуансон 2 прикреплен к верхней плите 3. Для надежной работы он имеет направляющие выступы 1, скользящие в вырубной матрице 5. Матрица может быть цельной или состоящей из четырех отдельных секций. На этом штампе можно также отрезать

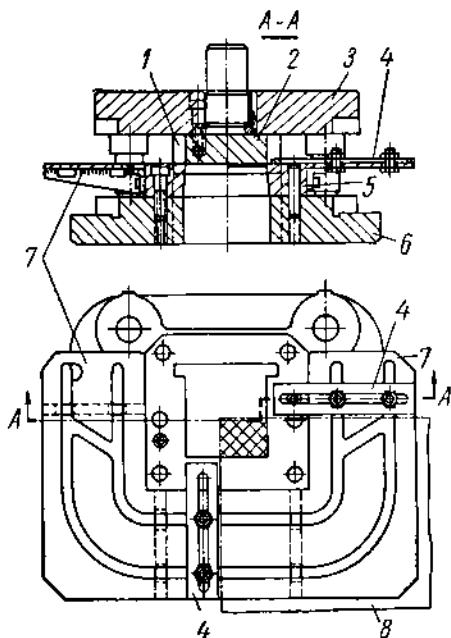


Рис. 160. Универсальный штамп для вырубки углов и пазов

от полосы или ленты заготовки различной длины и ширины, установив планки — упоры 4 по требуемым размерам.

Точность штамповки на универсальных штампах находится в пределах 5—7-го класса, а для поэлементной штамповки в случае использования в штампах микрометрических винтов даже до 3—4-го класса. Применение универсальных штампов и поэлементной штамповки (при помощи штампов, расположенных в линию) дает возможность использовать в листовой штамповке групповой метод обработки деталей.

§ 60. ШТАМПОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В листовой штамповке неметаллические материалы применяются для изготовления различных прокладочных и изоляционных материалов. Наиболее часто в промышленности используются следующие группы неметаллических материалов:

1) пластические массы: слоистой структуры — гетинакс, текстолит и стеклотекстолит; однородной (гомогенной) структуры — органическое стекло, винипласт, целлулоид, резина, эбонит;

2) материалы на основе бумаги: картон, фибра;

3) материалы минерального происхождения: слюда, миканиты.

Штампующесть неметаллических материалов различная; некоторые материалы штампуются в холодном виде, другие только в подогретом состоянии.

Вырезка неметаллических материалов

Исходя из технологических условий штампуемости неметаллических материалов, их вырезают при различных режимах работы. Материалы повышенной и средней хрупкости — гетинакс, органическое стекло, эбонит, винипласт, текстолит, слюда, миканит — при толщине до 1 мм вырезают в холодном виде на штампах с сильным прижимом и с заостренными режущими кромками в виде клина на матрице; угол заострения составляет $40\text{--}45^\circ \left(\frac{2}{9} \div \div \frac{1}{4} \pi \text{ рад} \right)$. При таких режущих кромках давление прижима концентрируется на небольшой площади, чем предотвращается появление трещин при вырезке. Удельное давление прижима при толщине материала до 1 мм составляет $0,6\text{--}1,0 \text{ кг/мм}^2$ ($6\text{--}10 \text{ Мн/м}^2$), а при толщине от 1,0 до 3,0 мм — $1,0\text{--}2,0 \text{ кг/мм}^2$ ($10\text{--}20 \text{ Мн/м}^2$).

Штамповку указанных материалов толщиной свыше 1 мм без применения сильного прижима производят в нагретом состоянии. Для вырезки текстолита толщиной 1—2 мм температура нагрева должна быть $130\text{--}140^\circ$, время нагрева 3 мин; при толщине от 2 до 6 мм температура нагрева составляет $180\text{--}200^\circ$, время нагрева 5 мин. Режим нагрева для гетинакса при толщине 0,5—3,0 мм

составляет 80—120°; время нагрева 5—8 мин на 1 мм толщины детали; температура нагрева органического стекла должна быть 100—120°. Эбонит штампуются при температуре до 60—80°. Нагрев указанных материалов производят в передвижных электрических термостатах или в специальных установках для обогрева инфракрасными лучами. Зазоры между матрицей и пуансоном берутся минимальные — около 0,01—0,02 мм на размер.

Легкоштампуемые материалы — картон, бумага, фибра и целлулоид — можно вырезать на штампах обычного типа и на совмещенных штампах. Мягкие волокнистые материалы — фетр, войлок, кожу и резину — вырезают при помощи просечек (специальные контурные ножи, имеющие форму детали).

Величина зазоров при вырезке обычными штампами составляет: для гетинакса, текстолита, фибры, эбонита (0,04÷0,05) з, для мягкого картона, кожи и фетра (0,02÷0,03) з.

Гибка, вытяжка и формовка неметаллических материалов

Большинство неметаллических материалов подвергается гибке, вытяжке и формовке в нагретом состоянии.

Текстолит и стеклотекстолит вытягивается на прессах двойного и простого действия с прижимом. Перед вытяжкой заготовки из текстолита нагревают до 150—170°, а из стеклотекстолита — до 230°.

Органическое стекло вытягивается в штампах с прижимом. Матрицу, прижим и заготовку нагревают до 115—120°, а пуансон — до 40°. Крупные и средние детали из органического стекла вытягивают на специальных вакуумных установках без формы (матрицы), а также и с матрицей. Винипласт и целлулоид вытягиваются с подогревом в прессформах. Фибра и картон подвергаются вытяжке в увлажненном состоянии [19; 28; 42; 49].

§ 61. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Прежде чем приступить к составлению технологического процесса штамповки детали, необходимо выяснить, насколько данная деталь соответствует конструктивным и технологическим требованиям, с таким расчетом, чтобы ее можно было изготовить наиболее экономичным способом. Для этого параллельно с конструированием изделия или детали приходится решать ряд вопросов, связанных с проектированием технологических процессов.

Конструктивные и технологические требования к детали

При проектировании (конструировании) изделия или деталей, получаемых путем штамповки из листового материала, в конструкции деталей следует предусмотреть наилучшие эксплуатационные качества и наиболее простое, экономичное и быстрое изготовление

их. Конструкции изделия или детали, отвечающие этим требованиям, называют технологичными. Таким образом, под технологичностью детали следует понимать такое сочетание основных элементов ее конструкции, которое наиболее просто обеспечивает изготовление детали в производстве и высокие качества в эксплуатации.

Технологичная конструкция детали лучше всего создается путем совместной работы конструктора и технолога и предусматривает следующее:

1) правильный выбор металла по толщине и физико-механическим свойствам;

2) придание детали наиболее благоприятной формы с точки зрения упрощения процесса штамповки, повышения стойкости штампа, получения наиболее экономичного раскроя материала с наименьшим количеством отходов;

3) соответствие установленных допусков на размеры детали технологически достижимой и экономически выгодной точности штамповки;

4) легкость последующей обработки детали (полировки, окраски) и соединение ее с другими деталями (сваркой, сборкой и др.).

Все перечисленные выше требования должны быть учтены в соответствии с характером производства: массовое, крупно- или мелкосерийное. Только учитывая все это, можно предъявлять определенные требования к различным штамповочным операциям. Например, для плоских деталей, получаемых путем отрезки, вырубки и пробивки, при оформлении конструкции детали следует предусмотреть, чтобы форма детали была по возможности простой, без резких переходов, узких и длинных открытых прорезей и консольных участков. Стороны вырубаемого контура должны сопрягаться плавными кривыми возможно большего радиуса R , не менее $0,3-0,5$ толщины, так как малые радиусы снижают стойкость штампа, затрудняют его изготовление и ухудшают поверхность среза (завалы). Минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от их формы и механических свойств штампуемого материала. Обычно рекомендуется, чтобы диаметр отверстия был не меньше толщины материала.

В согнутых или вытянутых деталях пробивку отверстий не следует делать на закругленных или близко к ним расположенных частях. Рекомендуется, чтобы расстояние от центра отверстия до стенки детали было бы больше суммы радиусов закругления и отверстия.

Помимо изложенного не следует забывать, что деталь должна быть также удачно сконструирована с точки зрения получения экономичного раскроя с минимальным количеством отходов.

При определении технологичности детали, получаемой гибкой, следует обратить внимание на правильный выбор радиусов со-

пряжения боковых полок с дном и размеры этих полок. Радиус сопряжения рекомендуется иметь не менее 0,3 толщины материала, а высота полок должна быть больше двойной толщины материала, в противном случае удлиняется технологический процесс изготовления и увеличивается процент брака.

При конструировании деталей, получаемых путем вытяжки и формовки, основное внимание должно быть обращено на правильный выбор радиусов сопряжения дна, стенок и фланцев, соотношение размеров поперечного сечения и высоты изделия; в случае вытяжки сложной детали — на форму ее контура.

Минимальный внутренний радиус должен быть: у цилиндрических полых деталей больше $2s$, а у прямоугольных — больше $3s$. Следует стремиться к возможно меньшей высоте детали по отношению к диаметру с тем, чтобы ее можно было получить за одну-две операции. Установлено, что за одну операцию можно получить цилиндрическое изделие при условии: $H \leq 0,7d_n$; прямоугольное — при $H \leq 0,8B$, $r_y \geq 0,1B$ (H — высота изделия; d_n — наружный диаметр цилиндра; B — малая сторона прямоугольника; r_y — внутренний радиус закругления в углах изделия).

Методы проектирования технологических процессов листовой штамповки

После анализа и рассмотрения вопроса о конструктивности и технологичности штампуемых деталей, о методах раскроя листового материала и об его экономии, переходят к проектированию и составлению технологического процесса. При составлении его учитывают ряд факторов, влияющих на выбор варианта штамповки, основными из которых являются: конфигурация (форма) и размеры детали; марка и толщина материала; точность изготовления и качество отделки поверхности детали; объем производственного задания и размер отдельной партии; наличный парк оборудования, штампы и инструмент. Анализируя значимость и удельный вес каждого из этих факторов, можно в каждом конкретном случае выбрать наиболее целесообразный вариант штамповки.

Действительно, в зависимости от рода и толщины материала детали ее штампуют в холодном или в горячем состоянии. Объем производственного задания и точность изготовления детали позволяют установить способ штамповки. Например, при изготовлении деталей в серийном производстве их штампуют на отдельных штампах; при мелкосерийном и опытном производствах детали штампуют упрощенными и универсальными штампами, применяют групповые методы и штамповку по элементам. При крупносерийном и массовом производстве в зависимости от размеров деталей и требуемой точности их штампуют на последовательных или совмещенных штампах. При массовом производстве процессы штамповки следует максимально механизировать и автоматизировать.

Параллельно с установлением варианта штамповки производят выбор оборудования (прессов) по требуемому усилию, а также и по необходимым габаритным размерам. Затем определяют технические нормы на штамповку детали, а затем уже приступают к разработке технологической документации.

При массовом и крупносерийном производстве разрабатывают полную документацию: карты технологических процессов по каждой детали, операционные карты и карточки раскроя материала. В серийном производстве разрабатывают обычно укрупненно-упрощенные технологические карты, а в мелкосерийном часто ограничиваются одной маршрутной ведомостью, в которой дается перечень операций с краткими сведениями по их выполнению. При групповой штамповке деталей оформляется полная групповая технология штамповки.

§ 62. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ (ЛИСТОВОЙ) ШТАМПОВКИ

В листоштамповочном производстве применяются кривошипные (эксцентрикковые), винтовые фрикционные и гидравлические прессы. Наибольшее распространение получили кривошипные и эксцентрикковые прессы. Эти прессы бывают различных типов. Их можно классифицировать по нескольким признакам.

По технологическому признаку они разделяются на прессы общего и специального назначения. *Прессами общего назначения* являются универсальные кривошипные прессы простого действия. На них выполняются самые разнообразные штамповочные работы.

К прессам специального назначения относятся вытяжные прессы двойного и тройного действия, предназначенные для сложных вытяжных работ, многопозиционные прессы, прессы-автоматы, чеканочные и др.

В зависимости от характера расположения кривошипно-шатунного механизма относительно опор главного (коленчатого) вала прессы разделяются на одностоечные и двухстоечные. У *одностоечных прессов* кривошипно-шатунный механизм расположен по одну сторону от опор, а у *двухстоечных* — между опорами.

По форме станины эти прессы бывают с *открытой* (С-образной), *закрытой* (арочной) и *наклоняемой* станиной.

По количеству шатунов прессы разделяются на одно-, двух- и четырехшатунные. По роду привода они бывают односторонние, двухсторонние, открытые и закрытые [18; 40; 41].

Разновидностью кривошипных прессов являются эксцентрикковые прессы с постоянным и переменным (регулируемым) ходом ползуна.

Прессы простого действия

На рис. 161 приведена кинематическая схема одностоечного кривошипного (эксцентрикового) пресса с открытой С-образной станиной.

Маховик 1, свободно сидящий на кривошипном валу 7, получает вращение от электродвигателя 2 при помощи зубчатой передачи. При нажатии на педаль 3 через систему рычагов включается муфта 8, которая сцепляет маховик с кривошипным валом и приводит его во вращение. От этого вала с помощью шатуна 5 приходит в возвратно-поступательное движение ползун 4, на котором закреплена верхняя часть штампа. В верхнем положении вал и ползун прессы затормаживаются тормозным устройством 6.

Ниже (см. рис. 166) показан двухстоечный однокривошипный пресс с наклоняемой С-образной станиной. Передача от двигателя к маховику осуществляется клинообразными ремнями — текстропной передачей. Подобные прессы выпускаются также с зубчатым приводом и пневматической подушкой, прикрепленной к столу прессы с нижней его стороны. Одностоечные прессы изготавливаются с номинальным давлением до 300 т (3000 кн), а двухстоечные с наклоняемой станиной от 10 до 200 т (от 100 до 2000 кн). Длина хода ползуна у этих прессов бывает при постоянном ходе от 30 до 130 мм, при регулируемом — от 10 до 130 мм. Число двойных ходов ползуна в минуту у быстроходных прессов составляет 170—70, у тихоходных — 45—35. При применении прессов с наклоняемой станиной значительно упрощается процесс удаления изделий из штампа. Угол наклона станины может достигать $25-45^\circ \left(\frac{5}{36} \div \frac{1}{4} \pi \text{ рад} \right)$.

Вышеприведенные типы прессов применяются при холодной листовой штамповке мелких и средних деталей. Для штамповки деталей, требующих значительных усилий, применяются кривошипные прессы с цельносварными закрытыми станинами и закрытым приводом. Эти прессы встречаются двух типов: с обычным кривошипно-шатунным механизмом 8, 9 и 10 (рис. 162, а) и

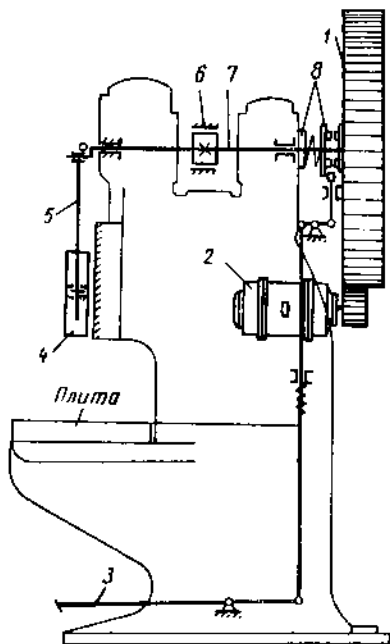
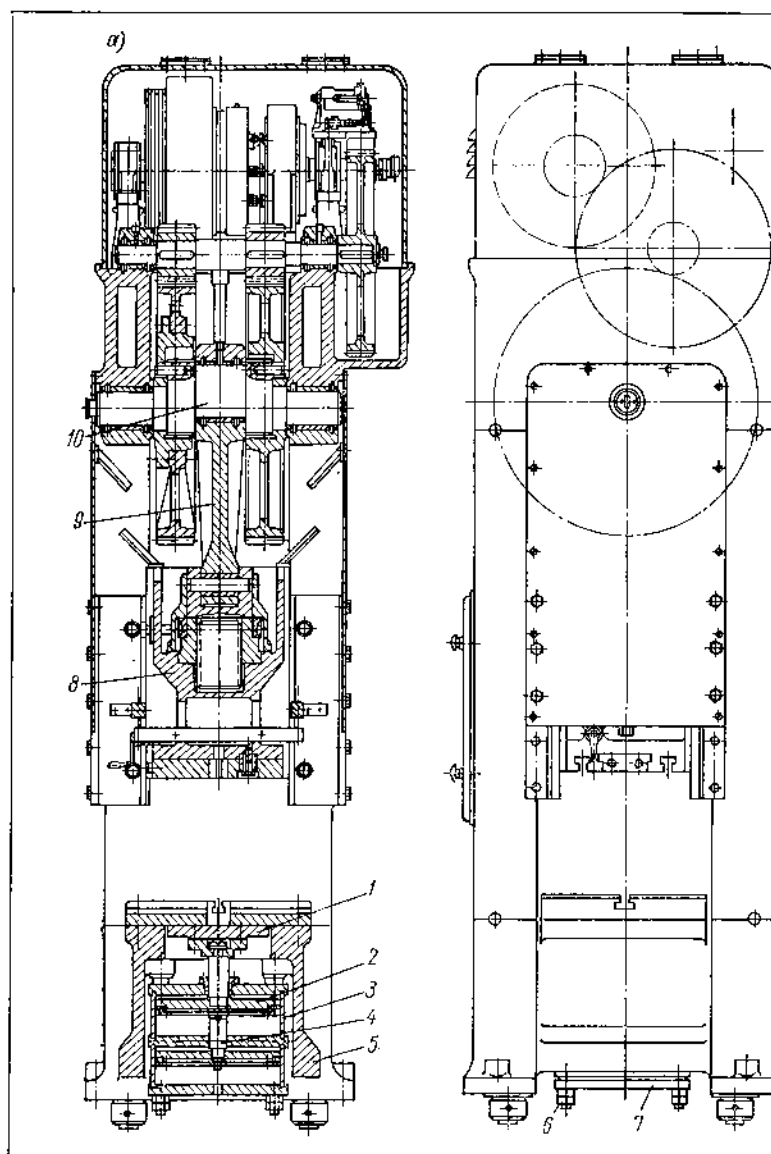


Рис. 161. Кинематическая схема одностоечного кривошипного прессы



с шестеренно-эксцентриковым приводом и дополнительным
жерным направлением ползуна (рис. 162, б).

Благодаря наличию плунжера 3 (рис. 162, б) ползун по
более точное направление, чем в обычных прессах, вследствие
эти прессы менее чувствительны к нецентральной нагрузке
зуна. У них привод и шестеренно-эксцентриковый механиз

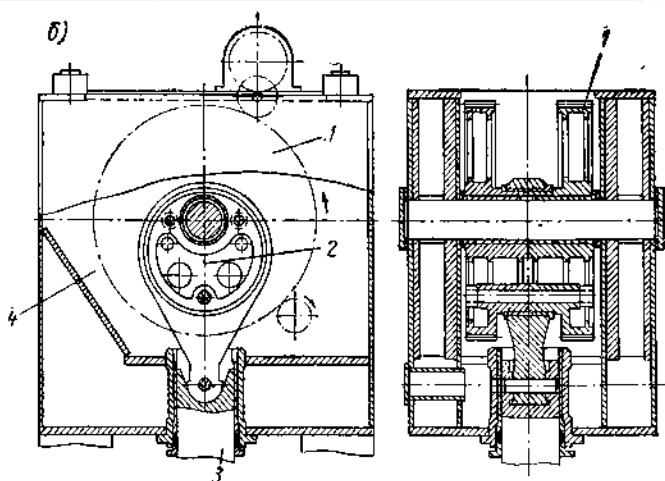


Рис. 162. Двухстоечный кривошипный пресс с закрытой станиной и закрытым приводом

помещается в головке пресса 4, заполненной маслом, и получают обильную смазку, благодаря чему пресс работает плавно и бесшумно. Указанная группа кривошипных закрытых прессов изготавливается с номинальным давлением от 40 до 1600 *т* (от 400 до 16 000 *кн*), а шестеренно-эксцентровых даже до 4500 *т* (45 000 *кн*). Длина хода ползуна составляет от 80 до 430 *мм*, число ходов ползуна в минуту от 20 до 6.

Для штамповки крупногабаритных деталей сложной и несимметричной формы применяются четырехшатунные (четырёхточечные) прессы. В этих прессах центр давления при штамповке расположен внутри четырехугольника, образуемого шатунами, благодаря чему допускается нецентральная нагрузка прессы, что обычно имеет место при штамповке несимметричных деталей большого габарита в автотракторной и авиационной промышленности. Основные параметры четырехшатунных шестеренно-эксцентровых прессов с плунжерной подвеской ползуна следующие:

Усилие прессы в <i>т</i>	400—2000 (4000—20 000 <i>кн</i>)
Длина хода ползуна в <i>мм</i>	250—800
Число ходов в минуту	18—5
Мощность основного электродвигателя в <i>л. с.</i>	30—125

Прессы двойного и тройного действия

Прессы двойного действия предназначены для вытяжки глубоких и сложных деталей. Основной конструктивной особенностью этих прессов является наличие двух ползунов (рис. 163): наруж-

ного 1, служащего для прижима заготовки 5, и внутреннего 2 — для вытяжки. Наружный ползун приводится в движение кулачковым 6 или коленно-рычажным механизмом от главного коленчатого вала 7, а внутренний ползун — непосредственно от главного вала.

Движение ползунов пресса двойного действия строго согласовано. Первым начинает движение вниз наружный ползун 1. Достигнув своего нижнего крайнего положения (нижней мертвой точки) — *НМТ*, он останавливается, зажимая прижимом 4 края заготовки 5. Вслед за ним начинает двигаться с верхней мертвой точки — *ВМТ* внутренний ползун 2, который производит пуансоном 3 вытяжку изделия. Наружный ползун остается неподвижным.

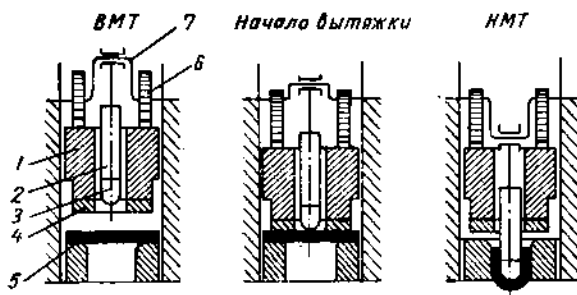


Рис. 163. Схема работы пресса двойного действия

ным в течение всего процесса вытяжки. Вверх начинает двигаться первым внутренний ползун, а вслед за ним уже наружный, что обеспечивает съем изделия с пуансона прижимом.

Основные параметры и размеры прессов двойного действия с открытым приводом (одно- и двухшатунные) следующие [40; 41]:

Номинальное усилие пресса в т . . .	160—1000 (1600—10 000 кн)
Максимальное усилие прижима в т . .	65—500 (650—5000 кн)
Длина хода внутреннего ползуна в мм	425—950
Длина хода наружного ползуна в мм	265—600
Число ходов в минуту	15—5
Мощность основного мотора в л. с. .	27—122
Расстояние между стойками в мм . .	800—5000

Прессы тройного действия предназначены для вытяжки сложных крупногабаритных деталей с наличием полостей, образующихся в результате обратной вытяжки. Они имеют три ползуна: два верхних, выполняющих такую же роль как и у прессов двойного действия, и нижний, перемещающийся внутри стола пресса в направлении, противоположном движению верхних ползунов. В настоящее время прессы тройного действия в целях уменьшения их высоты и удобства обслуживания делаются с нижним приводом, так же как и другие типы крупных прессов. Опоры пресса и его

привод расположены в подвальном помещении, где смонтирован также транспортер для уборки отходов листового металла.

Вытяжку изделий можно производить и на кривошипных прессах простого действия, снабженных пружинным (резиновым) буфером или пневматической подушкой. Пневматические подушки могут быть встроены в стол пресса и подвесные. Они бывают с неподвижными и подвижными цилиндрами.

На рис. 162, а была показана подвесная подушка с неподвижными цилиндрами. Она состоит из двух цилиндров 3 с поршнями 2, сидящими на общем штоке 4. Сжатый воздух из ресивера по трубопроводу поступает под поршень нижнего цилиндра через впускное отверстие; в верхний цилиндр воздух поступает по каналу в боковое отверстие штока. Подушка подвешивается к столу пресса 5 посредством четырех стержней 6 и поперечины 7. На верхней части штока закрепляется упорная плита 1, в которую упираются толкающие штифты штампа, связанные либо с прижимом (в вытяжном штампе), либо с выталкивателем (для любого штампа). Таким образом, при штамповке на прессах простого действия пневматическая подушка работает и как прижим, и как съёмник или выталкиватель.

При вытяжке на прессах двойного действия подушка используется только как выталкиватель для удаления изделия из штампа после вытяжки. На мощных прессах при штамповке крупногабаритных деталей несколько пневматических подушек соединяются по типу батареи.

В некоторых областях промышленности, в частности в автостроении, в последние годы для штамповки стали применять гидравлические прессы простого и двойного действия с усилием от 100 до 2000 т (от 1000 до 20 000 кн). В последнее время выпускаются уникальные гидравлические прессы с давлением до 7000 т (70 000 кн). За рубежом работают целые линии, оснащенные гидравлическими листоштамповочными прессами [21; 40].

§ 63. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ (ЛИСТОВОЙ) ШТАМПОВКИ

В целях повышения производительности труда и обеспечения безопасной работы на прессах штамповочные операции следует максимально механизировать и автоматизировать.

При работе на универсальных прессах, на которых обычно отсутствуют устройства для автоматической подачи, к штампу целесообразно пристроить соответствующее автоматизирующее приспособление. Наиболее распространенными являются: крючковые, валковые и клещевые приспособления к штампам для подачи полос и лент; лотковые, шиберные и револьверные — для подачи штучных заготовок. Достоинство указанных приспособлений

заключается в том, что они могут работать на любом прессе, не требуя его переделки.

В валковых подачах, конструктивно связанных со штампом, шаг подачи может составлять до 75 мм, число двойных ходов ползуна прессы допускается до 120 в минуту, толщина полосы от 0,2 до 3 мм, ширина полосы до 150 мм, точность подачи 0,2—0,1 мм.

Широкое применение на наших заводах получила клещевая подача, разработанная Б. С. Литвиненко [19]. Подобная универ-

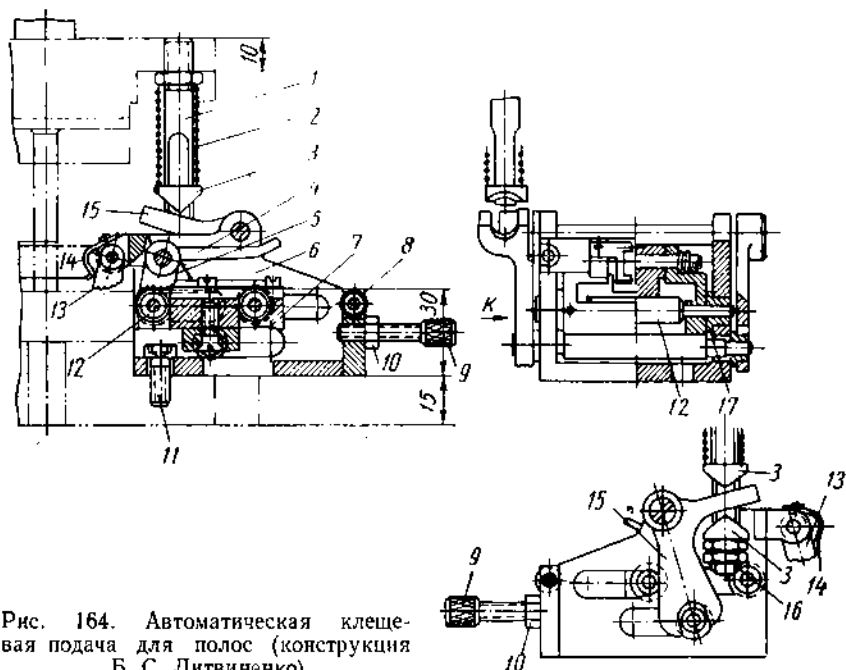


Рис. 164. Автоматическая клещевая подача для полос (конструкция Б. С. Литвиненко)

сальная автоматическая клещевая подача полос и лент, действующая от верхней плиты штампа, представлена на рис. 164.

Подача полосы в штамп осуществляется во время хода ползуна прессы вверх заклиниванием материала собачкой 5 на ролике 12. Каретка 7, на которой установлены собачка и ролики 8, 12, свободно перемещается в корпусе 6 на роликах 17 при помощи коленчатого рычага 15, действующего от стержня 1, на котором закреплены сухари 3. Корпус 6 крепится к нижней плите штампа двумя винтами 11.

Работа подачи происходит следующим образом. Нажав на рукоятку 4 собачки 5, полосу продвигают в направляющие линейки штампа под собачку 13, находящуюся под действием легкой пружины 14. При движении верхней части штампа вниз верхний сухарь 3 при помощи пружины 2, нажимая на рычаг 15, отводит ка-

ретку 7 вправо — в исходное положение — до упора 9 (для последующей подачи полосы вперед—влево). Положение упора 9 дополнительно фиксируется гайкой 10. Вторая собачка 13 затормаживает полосу и не дает ей перемещаться обратно.

При движении штампа вверх пружина 2 разжимается и задерживает каретку у упора 9 до тех пор, пока нижний сухарь 3 не сделает холостой ход, необходимый для вывода пуансона из полосы, и не приведет рычаг 15 в верхнее положение. В это время каретка 7 отходит от упора 9, увлекая за собой зажатую между собачкой 5 и роликом 12 полосу; вторая же собачка 13 на матрице

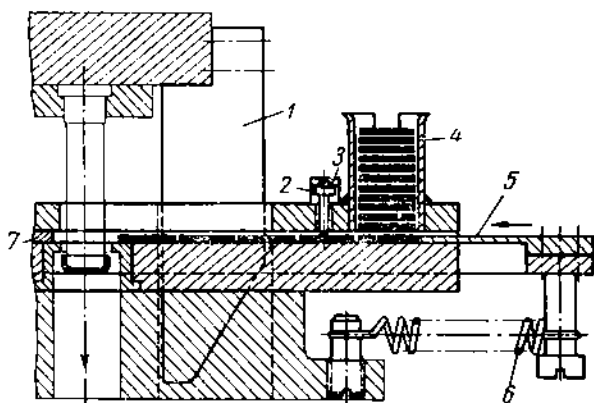


Рис. 165. Шиберная подача с клиновым механизмом

под воздействием полосы приподнимается, пропуская полосу вперед на величину шага. Холостой ход нижнего сухаря 3 регулируется гайками 16.

Указанное приспособление, установленное на небольших штампах, обеспечивает величину шага вырубki от 2 до 50 мм при толщине полосы от 0,1 до 3 мм и ширине ее до 72 мм. Точность подачи $\pm 0,06$ мм.

Для штучных заготовок в виде кружков или неглубоких колпачков применяют лотковую и шиберную подачи. При шиберной подаче значительно увеличивается производительность по сравнению с простой лотковой подачей. На рис. 165 показана конструкция шиберной подачи.

Заготовки, предназначенные для гибки или вытяжки (в данном случае для вытяжки), загружают вручную в магазин 4. При ходе ползуна вверх шибер 5 (движок, состоящий из верхней накладной смещной планки и основания), находясь под действием пружины 6, перемещает заготовку из магазина в рабочую зону штампа до упорной планки 7. При ходе вниз клин 1 возвращает шибер в исходное положение, после чего цикл работы повторяется аналогичным образом. Для затормаживания детали при холостом ходе

шибера подача снабжена пальцем 2, работающим от плоской пружины 3. Подача шибером может осуществляться также действием поворотного рычага [19; 30; 41]. Штампы с шиберной подачей работают как штампы-полуавтоматы. В таких подачах высоту щели магазина берут равной полуторной толщине материала s (где $s > 1,0 \text{ мм}$), а толщину шибера $(0,8 \div 0,9) s$.

Удаление отштампованных деталей, если работа ведется не на провал через матрицу, производится либо пружинным устрой-

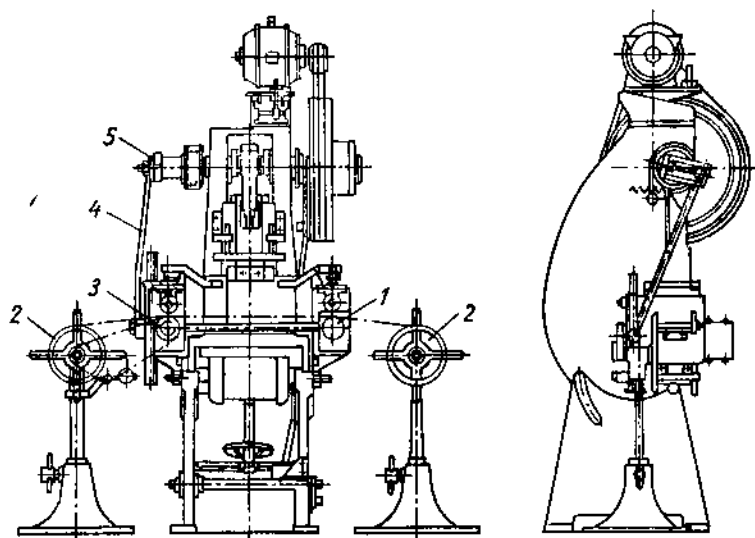


Рис. 166. Схема двухстоечного наклоняемого пресса с двойной валковой подачей

ством (сбрасывателем), расположенным сбоку штампа, либо автоматическим воздушным сбрасывателем.

В массовом производстве большое распространение получили автоматические подачи (приспособления), работающие от пресса. Их применяют для подачи лент и полос, листов и штучных заготовок.

Для подачи лент и полос применяются валковые подачи с одной или двумя парами валков и клещевые подачи — одно- и двухсторонние. Первые механизмы используются для материалов толщиной до $2-3 \text{ мм}$, величина подачи у них доходит до 300 мм , точность подачи $0,2-0,1 \text{ мм}$. При клещевой подаче толщина материала может быть до 5 мм ; точность подачи $\pm 0,03 \text{ мм}$. На рис. 166 показан общий вид пресса с установленной валковой подачей. Первая пара валков 1 продвигает материал в рабочую зону штампа, а вторая 3 вытягивает из штампа вырубленную ленту. Валки получают вращение от тяги 4, соединенной с эксцентриком или кольцом кри-

вошила 5, сидящем на главном валу пресса. Величину подачи материала за каждый оборот вала можно регулировать изменением эксцентриситета. Вращение валков производится либо при помощи храпового механизма, либо посредством фрикционных муфт обгона.

На прессе имеется также правильное роlikовое приспособление для выпрямления ленты (на рисунке не показан). Кроме того, у пресса находятся две стойки, в которых вращаются катушки 2: с правой из них лента сматывается, а на левую нама-

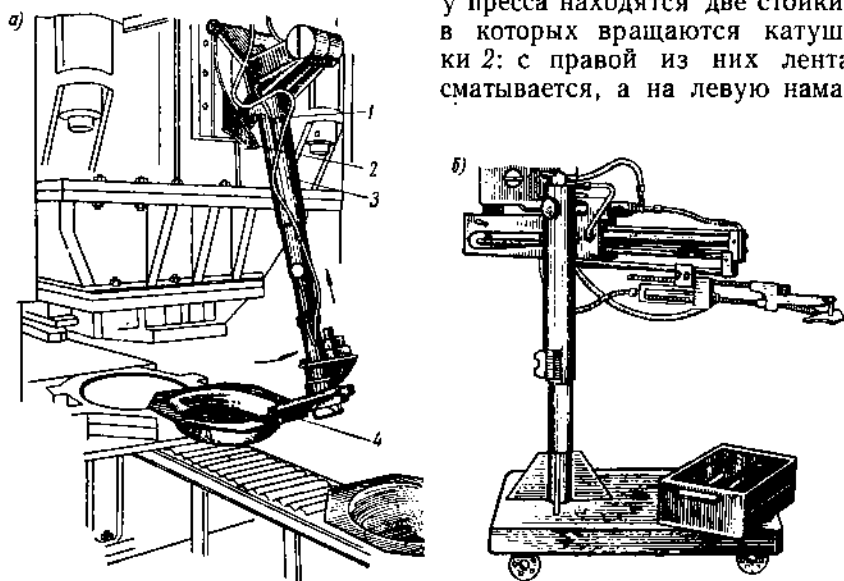


Рис. 167. Механическая рука для удаления крупных деталей из штампа

тывается после вырубki. Левая катушка (тянущая) приводится в движение от главного вала пресса через систему рычагов.

Подача валками обеспечивается лишь для прессов с числом ходов до 225 в минуту. Для более быстроходных прессов в последнее время применяют клино-роlikовые подачи конструкции горьковского завода «Труд». Такие подачи могут быть использованы на прессах с числом ходов до 500 в минуту.

Для механизации подачи отдельных листов на штамповку в последнее время все шире применяют листоукладчики [33; 57].

Для подачи штучных заготовок и полуфабрикатов используются следующие приспособления — подачи: с револьверным диском, пневмомеханические, грейферные, бункерно-насыпные, вибрационные бункера, штабельные и комбинированные подачи.

В автомобильной промышленности для удаления из штампа и подачи на последующие операции крупных вытянутых деталей широко применяются автоматические устройства, получившие название «механическая рука» [19; 33; 42; 57]. Они бывают двух видов — подвесные качающиеся (рис. 167, а) и напольные горизонтальные

(рис. 167, б). Работа механической руки осуществляется пневматикой, управляемой электрическими устройствами. Корпус подвесной механической руки шарнирно прикреплен к станине прессы двойного действия. При подъеме наружного ползуна прессы планка 2, поднимающаяся вместе с ним, скользит по ролику 1 и поворачивает корпус руки вокруг шарнира. Сжатый воздух сначала поступает в малый цилиндр 4, и перемещающийся в нем поршень закрывает клещевые зажимы, которые захватывают край детали; при повороте корпуса воздух поступает в большой цилиндр 3, поршень которого, перемещаясь, поднимает зажимное устройство, что в сочетании с поворотом корпуса позволяет удалять детали из полости штампа. В крайнем верхнем положении деталь освобождается и падает на рольганг для подачи на следующую штамповочную операцию.

Грейферные подачи устанавливаются на многооперационных (многопозиционных) прессах-автоматах, которые позволяют выполнить до 13 операций от первой (вырубки) до последней. Они применяются для штамповки изделий, получаемых путем глубокой вытяжки, без применения промежуточного отжига [19; 43; 57].

Соединение нескольких вышеприведенных приспособлений (подач) позволяет автоматизировать не только отдельные трудоемкие операции, но и процесс производства в целом, т. е. создать автоматизированные штамповочные линии или даже целые участки.

В последнее время на наших заводах получили применение роторные машины (предложение Л. И. Кошкина [19; 57]). Их особенность заключается в том, что обработка детали происходит не во время остановки движущейся заготовки, а в процессе одновременного непрерывного перемещения — вращения блока с инструментом и обрабатываемой заготовки.

Наличие достаточного количества блоков в роторе позволяет создать высокопроизводительные комплексные автоматические штамповочные роторные линии для самых различных операций.

§ 64. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ХОЛОДНОЙ (ЛИСТОВОЙ) ШТАМПОВКЕ

Техника безопасности и охрана труда работающих приобретают особое значение при холодной листовой штамповке. Избежать производственных травм в этой области можно различными путями.

При работе на открытых штампах, а также при штамповке из отдельных (штучных) заготовок их обязательно следует укладывать, а отштампованные детали удалять посредством какого-либо ручного инструмента (пинцетами, щипцами, линейками и т. д.). При штамповке из полосы рекомендуется применять штампы безопасной конструкции, например закрытые штампы с направля-

ющей плитой и с автоматически действующими упорами, ловителями, боковыми ножами и т. д.

При работе на штампах с направляющими колонками, в которых рабочая зона между пуансоном и матрицей открыта и представляет большую опасность для работающего, штамп нужно обязательно ограждать соответствующими предохранительными устройствами: неподвижными щитками и решетками, подвижными и падающими решетками, устройствами для отбрасывания рук, фотоэлементной защитой и т. д.

Вращающиеся части прессы должны ограждаться стальными сетками. При ножном включении прессы во избежание случайного нажатия на педаль последняя должна иметь предохранительное устройство в виде стопорных рамок, лап, подставок для ног и т. д. При ручном включении хорошо оправдывает себя двухрычажное блокированное управление, когда обе руки рабочего заняты включением прессы и не находятся в опасной зоне штампа.

При работе на крупных прессах хорошо зарекомендовало себя двухкнопочное электроуправление прессом при одном работающем и четырехкнопочное при двух работающих.

При крупносерийном и массовом производстве все ручные приемы по подаче заготовок в штампы и удаление отштампованных деталей следует заменить механическими и автоматическими устройствами.

1. Атрошенко А. П. Механизация и автоматизация горячей штамповки. М.—Л., изд-во «Машиностроение», 1965. 228 с.
2. Безручко И. И. Особенности индукционного метода нагрева заготовок дляковки и штамповки. — Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства. М.—Л., Машгиз, 1953. 379 с.
3. Безручко И. И. Определение времени индукционного нагрева заготовок из титанового сплава для обработки давлением. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1963, № 12.
4. Богданов В. М. Штамповка деталей по элементам в мелкосерийном производстве. М.—Л., Машгиз, 1963. 184 с.
5. Богоявленский К. Н. и др. Обработка цветных металлов и сплавов давлением. М., Металлургиздат, 1964. 564 с.
6. Головнева М. А. и Атрошенко А. П. Оборудование и технология горячей штамповки. М.—Л., Машгиз, 1962. 368 с.
7. Горбунов М. Н. Штамповка деталей из трубчатых заготовок. М., Машгиз, 1960. 188 с.
8. Гладилли А. И. и др. Технология металлов. М., Машгиз, 1958. 709 с.
9. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. Т. 2. М., Металлургиздат, 1960. 416 с.
10. Губкин С. И. и др. Основы теории обработки металлов давлением. Гл. 9 и 11. М., Машгиз, 1959. 539 с.
11. Гуревич Д. Я. Краткий справочник прокатчика. М., Металлургиздат, 1955. 445 с.
12. Дин А. М. Изготовление поковок на специальных машинах. М.—Л., Машгиз, 1958.
13. Днестровский Н. З. Волочение цветных металлов и сплавов. М., Металлургиздат, 1954.
14. Еднерал П. П., Константинов И. Г. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением. М., Машгиз, 1960. 341 с.
15. Жолобова В. В. и Заерев Г. И. Прессование металлов. М., Металлургиздат, 1959.
16. Залесский В. И. Оборудование кузнечно-прессовых цехов. М., изд-во «Высшая школа», 1964. 599 с.
17. Зимин А. И. Машины и автоматы кузнечно-штамповочного производства. Ч. 1. М., Машгиз, 1953.
18. Зубцов М. Е. Технология холодной штамповки. М.—Л., Машгиз, 1950. 463 с.
19. Зубцов М. Е. Листовая штамповка. М.—Л., изд-во «Машиностроение», 1967. 504 с.
20. Зубцов М. Е. Повышение стойкости штампов для холодной штамповки. ЛДНТП, 1960. 84 с.
21. Зубцов М. Е. Зарубежные достижения в области холодной штамповки. М.—Л., Машгиз, 1962. 74 с. (Библиотечка штамповщика, вып. 10).
22. Истомин П. С. Прессование металлов. М., Металлургиздат, 1944. 344 с.
23. Камнев П. В. Современное состояние теории и практики кузнечно-штамповочного производства и основные направления их развития. Кн. 31, М.—Л., Машгиз, 1952 (ЛОНИТОмаш).

24. Касенков М. А. Нагревательные устройства кузнечного производства. М., Машгиз, 1962. 472 с.
25. Кириллов П. П. Теория обработки металлов давлением. М., изд-во «Высшая школа», 1965. 296 с.
26. Кухтаров В. И. Холодная штамповка. М., Машгиз, 1962. 403 с.
27. Ламан Н. К. Развитие техники волочения металлов. М., Металлургиздат, 1963.
28. Малов А. Н. Технология холодной штамповки. М., Оборонгиз, 1963. 564 с.
29. Мансуров А. М. Технология горячей штамповки. М., Машгиз, 1960.
30. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. М., Машгиз, 1958. 140 с.
31. Митрофанов С. П. Научные основы групповой обработки деталей. М.—Л., Машгиз, 1959.
32. Недорезов В. Е. Глубокая вытяжка листового металла. М.—Л., Машгиз, 1949. 70 с.
33. Норицын И. А. и др. Основы проектирования цехов листовой штамповки. М., изд-во «Машиностроение», 1964. 304 с.
34. Охрименко Я. М. Основы технологии горячей штамповки. М., Машгиз, 1957. 328 с.
35. Павлов И. М. и др. Обработка металлов давлением. М., Металлургиздат, 1955. 483 с.
36. Павлов Н. Н., Эдуардов М. С. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах, прокатных станах и специальных машинах. М.—Л., изд-во «Машиностроение», 1964. 126 с. (Библиотечка кузнеца-новатора. Вып. 6).
37. Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. М., изд-во «Машиностроение», 1964. 174 с.
38. Полухин П. И. и др. Технология металлов. М., изд-во «Высшая школа», 1964. 456 с.
39. Ребельский А. В., Брюханов А. Н. Конструирование и расчет штампов для горячей штамповки. М., Машгиз, 1947. 555 с.
40. Ровинский Г. Н. Прессовое оборудование листоштамповочных цехов. М., Машгиз, 1960. 290 с.
41. Ровинский Г. Н., и др. Холодная штамповка в машиностроении. М., Машгиз, 1954. 280 с.
42. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. М.—Л., изд-во «Машиностроение», 1965. 788 с.
43. Свердлов М. И., Дагелайская Н. А. Штамповка на прессах-автоматах. М.—Л., Машгиз, 1955 (Библиотечка штамповщика. Вып. 9).
44. Скворцов А. А., Акименко М. А. Кузнечные нагревательные устройства. М.—Л., изд-во «Высшая школа», 1965.
45. Слухоцкий А. Е., Рыскин С. Е. Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей. М.—Л., Машгиз, 1954. 320 с.
46. Смирнов В. С. и др. Поперечная прокатка в машиностроении. М.—Л., Машгиз, 1957. 375 с.
47. Смирнов-Аляев Г. А., Розенберг В. М. Теория пластических деформаций металлов. М.—Л., Машгиз, 1956. 367 с.
48. Смирнов-Аляев Г. А. Основы расчета усилий в технологииковки и штамповки. М.—Л., изд-во «Машиностроение», 1964.
49. Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтрауб Д. А. Холодная штамповка в приборостроении. М.—Л., Машгиз, 1963. 435 с.
50. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М., изд-во «Высшая школа», 1963. 389 с.
51. Суворов И. К. Обработка металлов давлением. М., изд-во «Высшая школа», 1964. 355 с.
52. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке. Под ред. Сторожева М. В. М., Машгиз, 1959. 966 с.

53. Томленов А. Д. Теория пластических деформаций металлов М., Машгиз, 1951. 199 с.
54. Унксов Е. П. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. М., Машгиз, 1955. 280 с.
55. Фаворский В. Е. Групповые методы холодной штамповки. М.—Л., Машгиз, 1955. 84 с. (Библиотечка штамповщика. Вып. 7).
56. Фельдман Г. Д. Холодное выдавливание стальных деталей. М., Машгиз, 1963. 187 с.
57. Филиппов В. В. и др. Механизация и автоматизация листовой штамповки. М., Машгиз, 1960. 186 с.
58. Целиков А. И. Основы теории прокатки. М., Metallurgizdat, 1965. 247 с.
59. Чекарев А. П. и др. Курс прокатки в сжатом виде. ОНТИ, 1936. 371 с.
60. Чижилов Ю. М. Прокатное производство. М., Metallurgizdat, 1958. 612 с.
61. Шевелев В. В. Конструкции и основы проектирования универсальных штампов. М., изд-во «Машиностроение», 1964. 328 с.
62. Шишков Б. И. Точная штамповка в приборостроении. Москва — Свердловск. Машгиз, 1960. 271 с.
63. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., изд-во «Машиностроение», 1964. 374 с.
64. Шухов Ю. В. Профильное волочение в машиностроении. МДНТП, 1958.
65. Энциклопедический справочник «Машиностроение». Т. 2, 3, 4, 6, 8 и 14. М., Машгиз, 1946—1949.
66. Эгин И. Э. и др. Автоматизация процессовковки и измерение поковок на ковочных прессах при помощи радиоактивных изотопов. ЛДНТП, 1963. 27 с.
67. Юхвев И. А. Волокнильное производство. М., Metallurgizdat, 1960.
68. Эфрос М. М. Нагревательные и термические печи на газовом топливе. М., Metallurgizdat, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Основы теории обработки металлов давлением	7
§ 1. Физическая природа пластической деформации	—
§ 2. Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов	16
§ 3. Влияние различных факторов на пластичность и сопротивление металла деформированию	19
§ 4. Некоторые основные законы пластической деформации . . .	24
§ 5. Напряженное и деформированное состояние металла	28
Глава II. Нагрев металла и нагревательные устройства	37
§ 6. Нагрев металла	—
§ 7. Нагревательные устройства	44
§ 8. Контроль температуры при обработке давлением	60
Глава III. Прокатка	62
§ 9. Теоретические основы прокатки	—
§ 10. Технология прокатки сортового и листового металла . . .	78
§ 11. Оборудование для прокатки сортового и листового металла. Устройство и классификация прокатных станов	89
§ 12. Производство труб. Периодический прокат и производство гнутых профилей	96
Глава IV. Волочение	106
§ 13. Волоочильные станы и инструмент	107
§ 14. Основные величины, характеризующие деформацию при волочении, и технология волочения	110
§ 15. Усилие волочения. Смазка при волочении и контроль продукции	114
Глава V. Прессование	116
§ 16. Основные величины, характеризующие деформацию при прессовании	117
	309

§ 17. Характер течения металла, скорость и усилие прессования. Принцип расчета заготовки и выбор контейнера	118
§ 18. Технология прессования. Инструмент и оборудование для прессования	121
§ 19. Особенности горячего прессования сталей	123
§ 20. Холодное выдавливание (прессование)	125

Глава VI. Свободная ковка 128

§ 21. Величины, характеризующие деформацию при ковке. Влияние ковки на структуру и механические свойства металла	129
§ 22. Основные операции свободной ковки и применяемый инструмент	132
§ 23. Разработка технологического процесса изготовления поковок свободной ковкой	136
§ 24. Оборудование для свободной ковки	144
§ 25. Механизация процесса свободной ковки	153

Глава VII. Горячая объемная штамповка 156

§ 26. Общий технологический процесс изготовления поковок горячей штамповкой и структура штамповочного цеха	160
§ 27. Заготовки для горячей штамповки, способы их резки	161
§ 28. Принцип составления чертежа поковки	164
§ 29. Штамповочные молоты	167
§ 30. Определение веса падающих частей молота (мощности молота)	173
§ 31. Молотовые штампы	175
§ 32. Примеры технологических процессов штамповки на молотах	184
§ 33. Определение веса и размеров заготовки при штамповке на молотах	187
§ 34. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах	189
§ 35. Штамповка на винтовых фрикционных прессах	197
§ 36. Штамповка на гидравлических прессах	200
§ 37. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ)	202
§ 38. Холодновысадочные работы	210
§ 39. Штамповка поковок и фасонирование заготовок на ковочных вальцах	211
§ 40. Изготовление поковок на ротационно-ковочных машинах	213
§ 41. Обрезные операции	214
§ 42. Отделочные операции	216
§ 43. Контроль качества поковок	220
§ 44. Изготовление шестерен методом накатки	221
§ 45. Организация рабочего места штамповочного агрегата и внутрицеховой транспорт	222
§ 46. Механизация и автоматизация горячей штамповки	224
§ 47. Техника безопасности и охрана труда при работе в кузнечных и горячештамповочных цехах	229

<i>Глава VIII. Листовая штамповка</i>	232
§ 48. Резка	233
§ 49. Штампы для резки	244
§ 50. Гибка	251
§ 51. Гибочные штампы	259
§ 52. Вытяжка	261
§ 53. Вытяжные штампы	273
§ 54. Формовочные операции. Материалы штампов для формоизменяющих операций	276
§ 55. Прессовочные операции из листового материала	279
§ 56. Комбинированные, штампо-сборочные операции и штампо-сварные конструкции	280
§ 57. Горячая листовая штамповка	281
§ 58. Штамповка листовых деталей в мелкосерийном и опытном производстве	283
§ 59. Штампы для мелкосерийного и опытного производства	287
§ 60. Штамповка неметаллических материалов	290
§ 61. Технологические процессы листовой штамповки и методы их проектирования	291
§ 62. Оборудование для холодной (листовой) штамповки	294
§ 63. Механизация и автоматизация процессов холодной (листовой) штамповки	299
§ 64. Техника безопасности при холодной (листовой) штамповке	304
Литература	306

Игорь Иванович Безручко,
Михаил Ефимович Зубцов,
Лидия Николаевна Балакина

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Редактор издательства *Р. Н. Михеева*
Переплет художника *П. Кузнецова*
Технический редактор *А. А. Бардина*
Корректор *Л. И. Никитина*

Сдано в производство 6/II 1967 г.
Подписано к печати 11/VII 1967 г. М-10402
Формат бумаги 60 × 90¹/₁₆
Бумага типографская № 2
Печ. л. 19,5 Уч.-изд. л. 20
Тираж 25 000 экз. Заказ 1465
Цена 88 коп.

Ленинградское отделение
издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР
Ленинград, ул. Моисеенко, 10

1816

1816
H. H. H. H. H.
H. H. H. H. H.
H. H. H. H. H.

И. И. БЕЗРУЧКО, М. Е. ЗУБЦОВ, Л. Н. БАЛАКИНА

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

