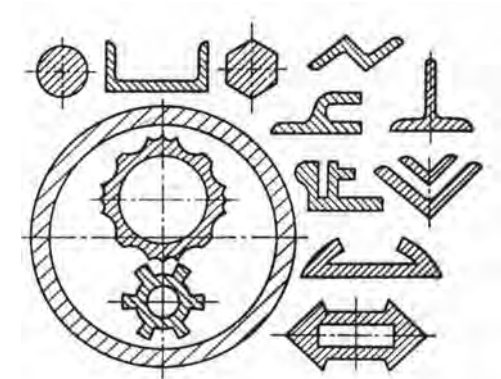
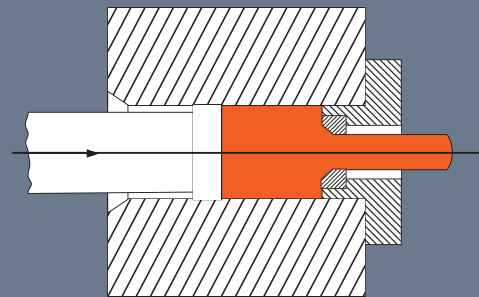


В.И. Дудоров, Т.А. Дудорова

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Учебное пособие



ISBN 978-5-4217-0161-3



Курганский
государственный
университет



редакционно-издательский
центр

43-38-36

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.И. ДУДОРОВ, Т.А. ДУДОРОВА

**ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие

Курган 2012

УДК 621.73
ББК 34.62
Д81

Рецензенты

заведующий кафедрой КГСХА им Т.С. Мальцева **А.В. Фоминых**
генеральный конструктор ОАО «АК «Корвет» **П.В. Ротермель**

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

Научный редактор – д.т.н., профессор А.В. Афонаскин

Д 18 Дудоров В.И., Дудорова Т.А. Основные способы обработки металлов давлением: Учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 94 с.

В учебном пособии изложены основные способы обработки металлов давлением. Даны понятия о напряженном и деформируемом состояниях металла, о их влиянии на структуру и свойства получаемых заготовок и деталей.

Рис. – 78, библиограф. – 6 назв.

УДК 621.73
ББК 34.62

ISBN 978-5-4217-0161-3

© Курганский государственный университет, 2012

© Дудоров В.И., Дудорова Т.А., 2012

ВВЕДЕНИЕ

Сущность процессов обработки металлов давлением (ОМД) состоит в придании металлу определенной формы. Обработку давлением можно применять к металлам, которые обладают достаточной пластичностью, т.е. способностью изменять свою форму без разрушения. При обработке давлением изменяется не только форма, но и структура и механические свойства металлов. Однако при обработке металлов давлением практически не изменяется объем обрабатываемого металла.

В последнее время ОМД получает широкое распространение. Около 90% всей выплавленной стали в России и 55% всего цветного металла подвергается различным способам ОМД.

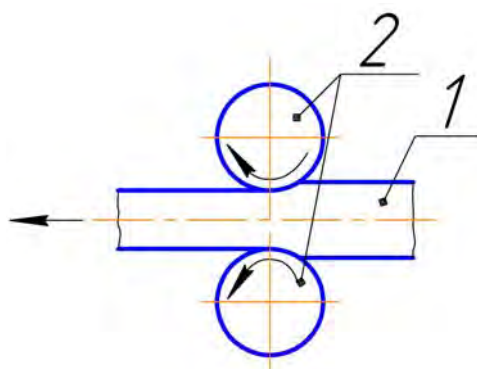
Преимущества:

- 1 В процессе ОМД улучшаются физико-механические свойства изделия.
- 2 Высокая производительность, достаточно легко поддается механизации и автоматизации.
- 3 Экономичный процесс. Отходы металлов минимальные.
- 4 Высокий класс точности и чистота поверхности до 10 класса и выше.

Основными видами обработки металлов давлением являются прокатка, волочение, ковка, штамповка, прессование. Первые два вида можно объединить под общим наименованием прокатно-волочильного производства, а следующие два – под общим наименованием кузнечно-штамповочного производства.

Рассмотрим принципиальные схемы основных способов ОМД.

Прокатка представляет собой обжатие металла путем пропускания его между вращающимися валками прокатного стана. Изобразим схему простейшего процесса прокатки (рисунок 1).



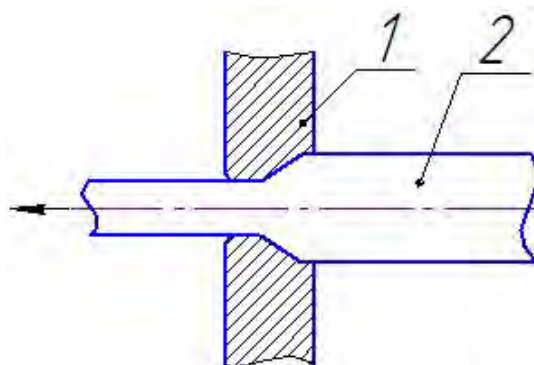
1 – заготовка, 2 – валки

Рисунок 1 – Схема процесса прокатки

Заготовка (слиток) 1 силами трения втягивается в зазор между вращающимися валками 2, в результате чего площадь поперечного сечения ее уменьшается, а длина увеличивается.

Производство проката определяет уровень развития многих отраслей промышленности. Свыше 80% выплавленного в нашей стране металла подвергается прокатке. Прокаткой получают большое число готовых изделий: рельсы, балки, уголки, швеллеры, листы, трубы, бандажи, колеса и т.д., а также и заготовки дляковки, штамповки, прессования и волочения.

Волочение металлов производится протягиванием прутков, проволоки и труб через отверстие в матрице (волокe) меньшее, чем сечение исходного металла (рисунок 2).



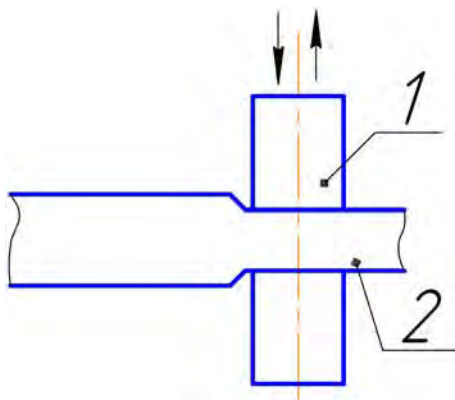
1 – воло́ка; 2 – пруток

Рисунок 2 – Схема волочения

При **волочении** площадь поперечного сечения обрабатываемой заготовки уменьшается, а так как объем остается неизменным, то длина ее увеличивается.

Свободной ковкой называется процесс последовательного деформирования отдельных частей исходной заготовки на плоских бойках.

Ковка слитков и заготовок производится на молотах ударным (динамическим) воздействием бойков (1) на нагретый металл (2), а также на ковочных прессах с относительно медленным (статическим) давлением (рисунок 3).

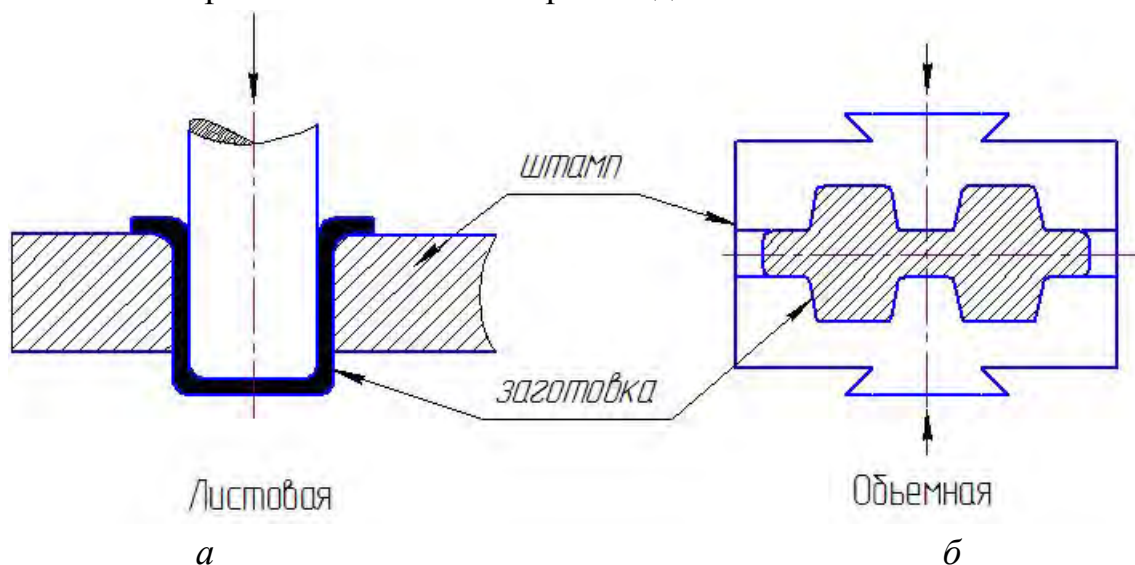


1 – боек, 2 – заготовка

Рисунок 3 – Свободная ковка

Свободная ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве для изготовления поковок до 200 т.

При штамповке металл приобретает форму соответствующей полости (штампа) (рисунок 4). Штамповку производят в холодном и горячем состоянии металла. Если исходным материалом для штамповки служит лист, то это будет листовая штамповка, в остальных случаях – объемная. Штамповка является высокопроизводительным методом обработки металлов давлением и в основном применяется в серийном и массовом производстве.

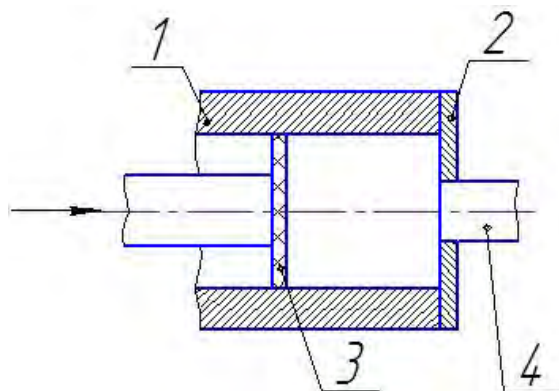


*а – листовая, б – объемная
Рисунок 4 – Штамповка*

Следующим способом обработки давлением является **прессование** (рисунок 5).

Поковки, полученные методом штамповки, по своим размерам и формам приближаются к готовым деталям, в результате чего снижается объем последующей механической обработки на металлорежущих станках.

Принцип процесса прессования заключается в выдавливании пуансоном (3) заготовки из контейнера (1) (толстостенного полого цилиндра) через отверстие в матрице (2).



1 – контейнер, 2 – матрица, 3 – пуансон, 4 – изделие
Рисунок 5 – Схема прессования

Профиль получаемого изделия (4) соответствует профилю отверстия в матрице. Прессование применяется для получения разнообразных сплошных и полых профилей из цветных металлов, реже из стали и сплавов.

Способы обработки давлением, приведенные во введении, далее в пособии будут описаны более подробно. По каждому способу будут приведены основные операции, оборудование, инструмент и возможности способов.

1 НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

1.1 Краткие понятия о напряженном состоянии тела

Деформация (формоизменение) тела происходит под действием внешних сил. Деформацию называют упругой, если после прекращения действия внешних сил тело полностью восстанавливает первоначальную форму и размеры.

Деформацию называют пластической (остаточной), если произошедшее изменение формы и размеров тела остается после прекращения действия внешних сил. При обработке металлов давлением в большинстве случаев силы инерции малы, ими пренебрегают, и тело рассматривается в состоянии статического равновесия.

Внешние силы вызывают появление в теле внутренних сил, которые уравновешивают действие внешних сил. Интенсивность внутренних сил называют напряжением. Под напряжением вообще можно понимать и интенсивность внешних сил, но чаще для внешних сил пользуются термином «удельная сила».

Напряжения различны в разных точках деформируемого тела. Рассмотрим напряженное состояние в какой – либо точке тела А (рисунок б).

Рассечем тело плоскостью и, отбросив одну часть, заменим ее равнодействующей всех сил S , действующих на бесконечно малый объем, превращающийся в точку А, n -нормаль к плоскости (L).

Проектируя вектор полного напряжения S на координатные оси, получим σ_n – нормальное напряжение, перпендикулярное к площадке, и два касательных напряжения τ_y и τ_x , лежащие в плоскости площадки.

В зависимости от направления нормали, у нас будут меняться соотношения между нормальными и касательными напряжениями. В том случае, если направление полного вектора S совпадает с направлением нормали к данной площадке, τ_y и τ_x будут равны 0. Данная площадка будет называться главной площадкой, а напряжение σ_n – главным нормальным напряжением.

Напряженное состояния точки в данном объеме может быть описано тремя главными напряжениями σ_x , σ_y , σ_z .

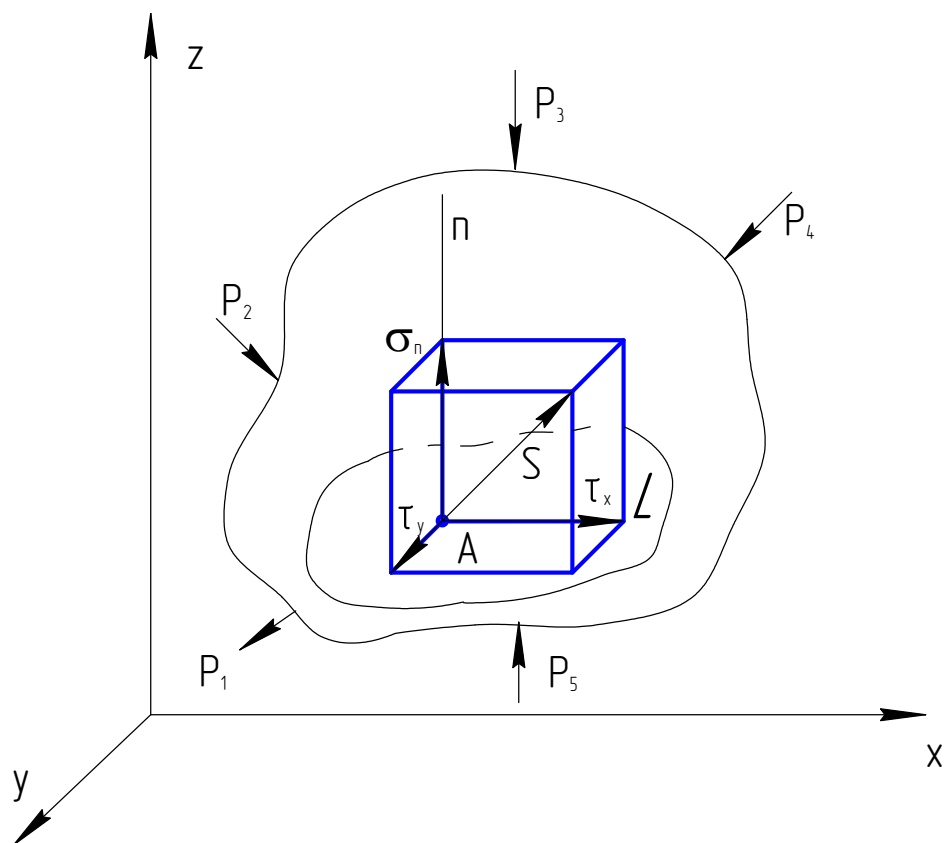


Рисунок 6 – Напряженное состояние в точке A.

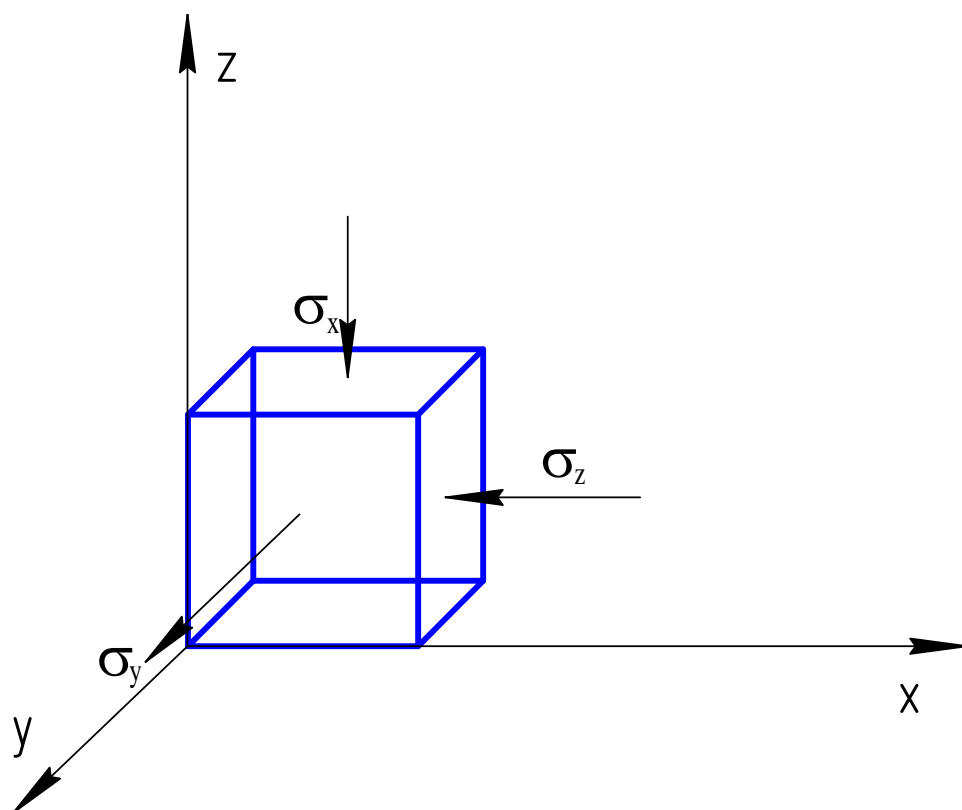


Рисунок 7 – Объем куба с тремя главными напряжениями

Показан объем куба, на который действует 3 главных напряжения по координатным осям.

Под схемой главных напряжений (рисунок 7) будем понимать величину трех главных напряжений, действующих на данную точку при условии, что все точки данного объема имеют одинаковые свойства и находятся под одинаковым напряжением. Напряжение – это равнодействующая всех внутренних сил, действующих на элементарную площадку. Напряжение возникает под действием активных сил (инструмента), реактивных сил (стенок калибра) и под действием сил трения.

Определим величину напряжений в площадках, одинаково наклоненных к главным осям. Эти площадки называют октаэдрическими, поскольку в данной точке их всего восемь и вместе они образуют октаэдр.

$$S_{\text{окт.}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}{3}}, \quad \sigma_{\text{окт.}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \quad (1)$$

$$\tau_{\text{окт.}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}. \quad (2)$$

Внутренние напряжения возникают не только под действием деформации, а также при неодинаковом изменении объема с течением времени в результате нагрева, термообработки.

1.1.1 Схемы напряженного состояния

Схемы напряженного состояния графически отображают наличие и направление главных напряжений в рассматриваемой точке тела. Напряжения в точке изображаются как напряжения на трех бесконечно малых гранях куба, соответственно перпендикулярных главным осям. В общем случае в объеме тела напряжения имеют различную величину и направление главных осей также различно. Известно 9 схем напряженного состояния. Схемы с напряжениями одного знака называют одноименными, а с напряжениями разных знаков – разноименными. Растягивающие напряжения условно считают отрицательными, а сжимающие положительными. Наиболее часто встречаются схемы всестороннего сжатия и напряженного состояния с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями.

Две линейные схемы напряженного состояния, характеризующие сжатие и растяжение металла по одной оси (рисунок 8).

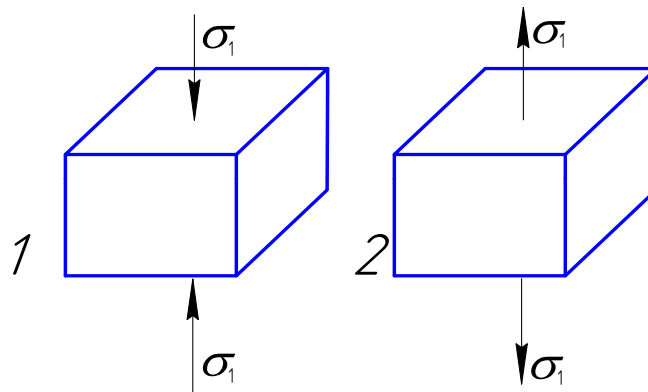


Рисунок 8 - Линейные схемы напряженного состояния

Это две возможные схемы, но первую практически получить невозможно, а вторая может быть получена при растяжении образцов, исключая образование шейки.

Три схемы плоского напряженного состояния (рисунок 9).

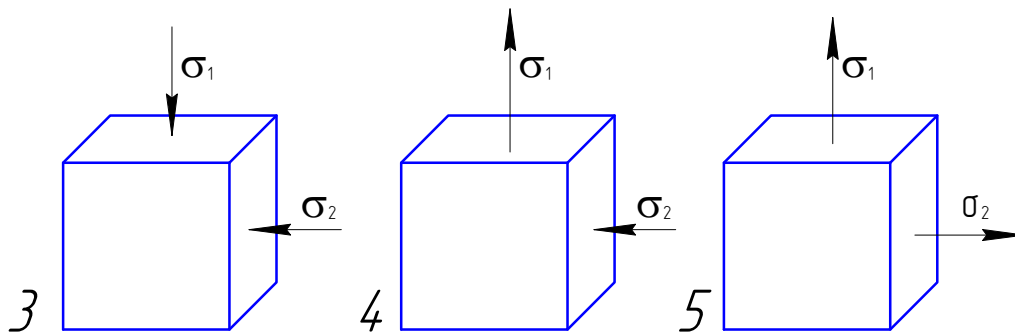


Рисунок 9 – Схемы плоского напряженного состояния

Практически осуществить эти схемы сложно.

В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев происходит объемное напряженное состояние.

Четыре схемы объемного напряженного состояния (рисунок 10).

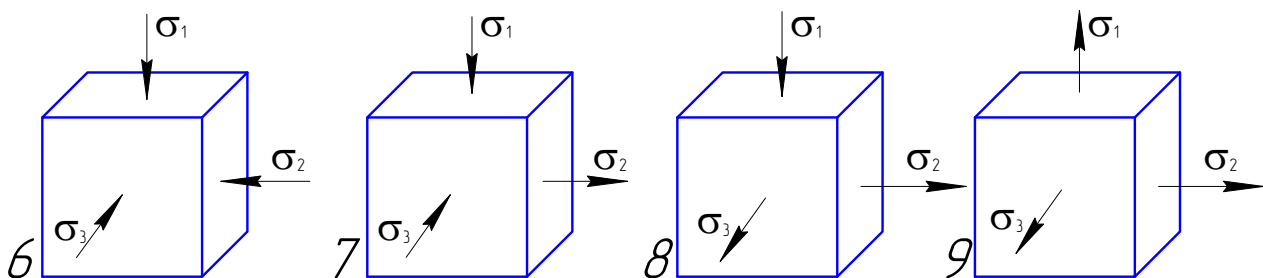


Рисунок 10 – Схемы объемного напряженного состояния

6-я схема присуща подавляющей части объема при прессовании.

7-я схема встречается при волочении.

8-я схема имеет место при прокатке со свободным уширением, при свободной ковке.

9-я схема при поперечно-винтовой прокатке (при прошивке) в осевой части слитка.

С точки зрения пластичности металлов, т.е. его способности изменять форму без разрушения, наиболее благоприятна схема объемного сжатия (6). При условии $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ деформации не будет. Чтобы осуществить плавную деформацию, нужно иметь разность главных напряжений $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Пластичность будет наибольшей. Влияние этих схем на пластичность будет уменьшаться от 6 к 9 схеме. Чем больше отношение растягивающих напряжений к сжимающим, тем меньше пластичность.

Таким образом, изменяя напряженное состояние деформируемого тела при деформации, можно изменять и пластичность его в широких пределах и деформировать даже хрупкие металлы.

1.1.2 Схемы главных деформаций

Соответственно схемам главных напряжений существуют схемы главных деформаций $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ в какой-либо точке тела. Графически отображают наличие и направление деформации ϵ по трем взаимно-перпендикулярным осям, т.е. изменение размеров тела в направлении трех главных осей (рисунок 11; 12 и 13).

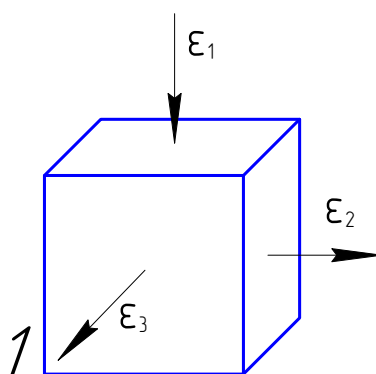


Рисунок 11 – Объемная схема деформации

1 – объемная схема деформации, когда уменьшаются размеры в направлении одной оси и увеличиваются в двух других. Такая схема действует при (осадке) ковке, штамповке и при прокатке.

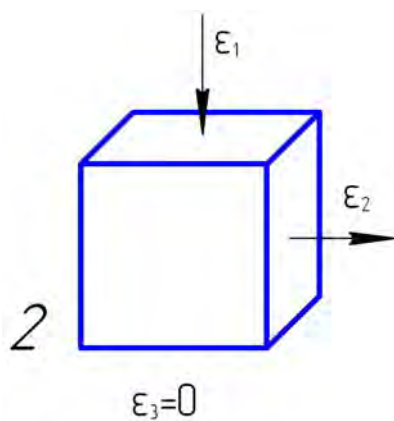


Рисунок 12 – Плоская схема деформации

2-я плоская схема деформации, при которой размеры тела увеличиваются по одной, уменьшаются по второй и остаются без изменений по третьей оси. Эта схема осуществляется при прокатке широкого листа, когда его ширина в процессе прокатки практически не изменяется.

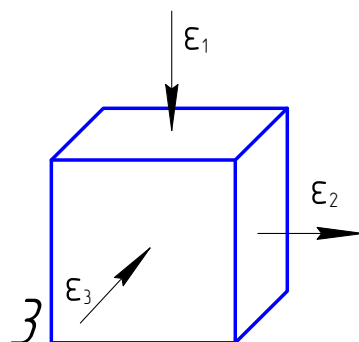


Рисунок 13 – Объемная схема деформации

Наиболее рациональной, с точки зрения производительности процесса обработки давлением, является 3-я схема. При этой схеме размеры тела уменьшаются по двум направлениям и увеличивается третий размер, т.е. длина увеличивается максимально. По этой схеме происходят процессы прессования, волочения и некоторые виды прокатки труб. Когда схемы главных напряжений и главных деформаций рассматриваются вместе, их называют механической схемой деформации.

1.1.3 Закон постоянства объема. Коэффициенты, характеризующие пластическую деформацию

Пластическая деформация практически не влияет на плотность металла. Только при первичной обработке давлением литого металла плотность заметно

изменяется, так как литой металл всегда содержит газовые пузыри, усадочные раковины, рыхлость, поры и т.п. Например, при прокатке на блюминге слитков кипящей стали, плотность её возрастает с 6,9 до 7,85. Дальнейшая обработка давлением не влияет на плотность. Деформациям, характеризующим увеличение первоначального размера (удлинение), присваивают знак плюс, а укорочение (сжатие) – знак минус.

Поэтому обычно принимают допущение: в процессах обработки давлением объем деформируемого металла не изменяется. Это положение называют законом (условием) постоянства объема. Закон связывает размеры деформируемого тела до и после деформации. Например, для параллелепипеда высотой h , шириной b , длиной l (рисунок 14).

$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1$, т.е. объем тела до деформации равен объему тела после деформации.

Это соотношение можно выразить иначе:

$$\frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = 1 \quad \text{или} \quad \ln \frac{h_1}{h_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} = 0. \quad (3)$$

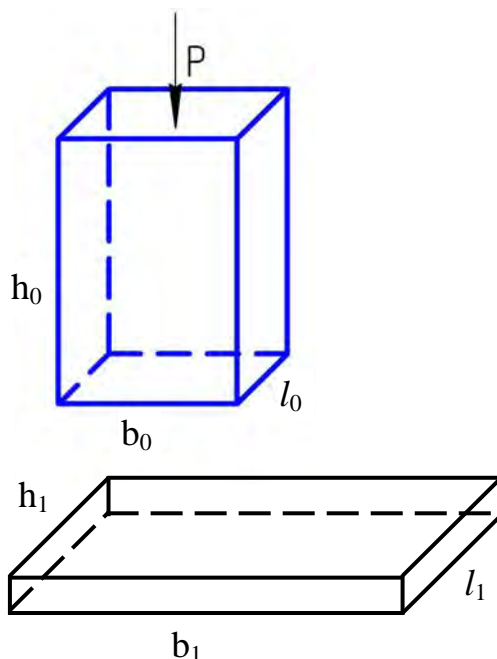


Рисунок 14 – Измерение объема параллелепипеда до и после деформации

Деформацию принято оценивать величинами (коэффициентами).

Абсолютные величины деформации, полученные разностью линейных размеров, называются:

$h_0 - h_1 = \Delta h$ - обжатие,

$b_1 - b_0 = \Delta b$ - уширение,

$l_1 - l_0 = \Delta l$ - удлинение.

Относительные деформации:

$$\Delta h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\% \quad \text{выражаются в \%},$$

$\frac{\Delta h}{h_0}$ и $\frac{\Delta h}{h_1} \%$ - относительное обжатие или относительная высотная деформация;

$$\Delta b = \frac{b_1 - b_0}{b_0} \cdot 100\% ,$$

$\frac{\Delta b}{b_0}$ и $\frac{\Delta b}{b_1}$ - относительное уширение или относительная поперечная деформация;

$$\Delta l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% ,$$

$\frac{\Delta l}{l_0}$ и $\frac{\Delta l}{l_1}$ - относительное удлинение или относительная продольная деформация.

Часто прибегают к выражению деформации через коэффициенты деформации – это отношения геометрических размеров по высоте, длине, ширине за-

готовок до и после деформации $\frac{h_0}{h_1} = \eta$:

$$\frac{h_1}{h_0} = \frac{1}{\eta} \quad \text{- коэффициент обжатия,}$$

$$\frac{b_1}{b_0} = \beta \quad \text{- коэффициент уширения,}$$

$$\frac{l_1}{l_0} = \mu \quad \text{- коэффициент вытяжки,}$$

$$\frac{1}{\eta} \cdot \beta \cdot \mu = 1 \quad \text{- произведение коэффициентов деформации по трем коорди-}$$

натным осям = 1,

$\eta = \beta \cdot \mu$ - деформация по одной оси равна деформации по двум другим осям.

Величина и характер деформации зависят от пластических свойств металла. Пластичность металлов приближенно может быть оценена:

относительным удлинением
$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%$$
,

относительным сужением
$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%$$

при испытании образцов на растяжение,

где l_0 и F_0 - исходные значения расчетной длины образца и площади его поперечного сечения;

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

Представление об упругих и пластических свойствах различных металлов дают диаграммы условных и истинных напряжений и деформаций.

Эти диаграммы 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 .

Условные напряжения определяются отношением действующего в данный момент усилия к первоначальной площади поперечного сечения образца.

По диаграмме условных напряжений можно определить предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$, предел текучести ($\sigma_{\text{т}}$ - физический и условный $\sigma_{0,2}$) и временное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{в}}$ (рисунок 15 и 16).

Широкое распространение получили диаграммы истинных напряжений в координатах истинное напряжение S – относительное сужение поперечного сечения образца ψ в данный момент испытания. Точка В характеризует напряжение $S_{\text{в}}$, отвечающее началу образования шейки, а так как напряжение $S_{\text{к}}$ в момент разрыва касательная к кривой в т. В отсекает на оси ординат отрезок, близкий по величине временному сопротивлению разрыва, т.е. $S_0 = \sigma_{\text{в}}$, истинная деформация выражается относительным сужением $\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%$ или

относительным удлинением
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$
.

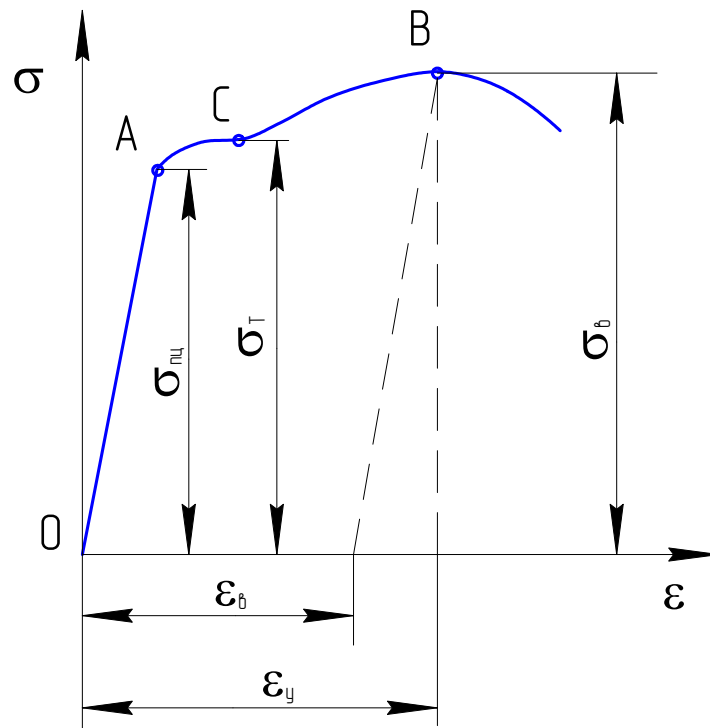


Рисунок 15 – Диаграмма условных напряжений

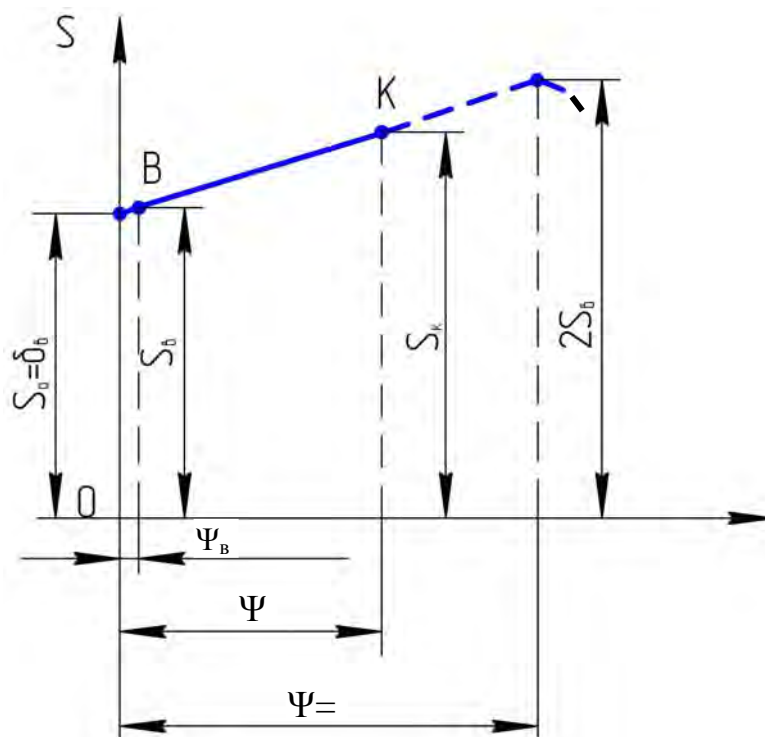


Рисунок 16 – Диаграмма истинных напряжений

Кривая на диаграмме истинных напряжений характеризует способность материала сопротивляться пластической деформации растяжением. Кривые ис-

тинных напряжений часто называют кривыми упрочнения, так как истинное напряжение является пределом текучести материала, получающего упрочнение при растяжении. При ОМД 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 (σ_T) приближается к пределу прочности (σ_B), поэтому они разрушаются почти без пластической деформации (чугун, стекло, фарфор, горные породы и т.д.).

Следует заметить, что при нагреве металла до высоких температур значение предела текучести почти совпадает со значением предела прочности.

Пусть тело, длина которого в данный момент времени равна l , удлинится за время dt на величину dl . Тогда относительная деформация в данный момент

равна $\frac{dl}{l}$. Следовательно, относительная деформация l_x тела при изменении его

длины от l_0 до l_1 $l_x = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0}$, аналогично $l_y = l \ddot{i} \frac{b_1}{b_0}$, $l_z = l \ddot{i} \frac{h_1}{h_0}$. Поэто-

му оценку ведут по величинам или компонентам деформации l_y, l_x, l_z .

Величины l_y, l_x, l_z называются интегральной или логарифмической деформацией и сумма их равна 0:

$$l_y + l_x + l_z = 0.$$

Принято осадку уменьшения размеров считать отрицательной (l_z), а осадку увеличения размеров положительной (l_x), (l_y) из этого соотношения видно, что всегда одна из интегральных деформаций имеет знак, противоположный знаку двух других степеней деформации и равна их сумме. Позволяет проследить деформацию по времени - смещенный объем (рисунок 17).

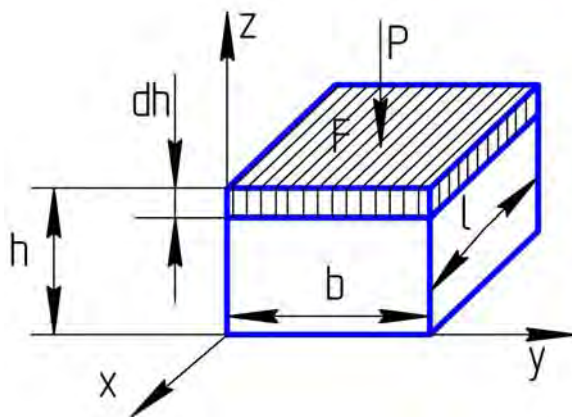


Рисунок 17 – Смещенный объем

Пусть в данный момент деформации параллелепипед имеет размеры h, b, l , площадь поперечного сечения F и обжимается по высоте на величину dh . Смещенный объем в данный момент по оси z равен $dV_z = Fdh$. Смещенный объем за время деформации по оси z :

$$V_z = \int_{h_0}^{h_1} Fdh, \text{ но } F = \frac{V}{h},$$

где V – объем тела.

Поэтому $V_z = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = Vli \frac{h_1}{h_0}$, аналогично $V_x = Vli \frac{l_1}{l_0}$ и $V_y = Vli \frac{b_1}{b_0}$. Име-

ется связь между интегральными деформациями и смещенными объектами: $V \cdot l_x = V_x$, $V \cdot l_y = V_y$, $V \cdot l_z = V_z$. Тогда закон постоянства объемов будет в таком виде: $V_x + V_y + V_z = 0$, т.е. сумма смещенных объемов по трем взаимно-перпендикулярным осям равна 0.

Важной характеристикой процесса деформации является скорость деформации.

Скорость деформации – изменение степени деформации в единицу времени:

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; W_{cp} = \frac{\varepsilon}{t}, \quad (4)$$

где W – скорость деформации, c^{-1} или $\%/c$; ε – степень деформации в долях единицы или $\%$, t – время, c .

Скорость деформации следует отличать от скорости движения деформирующего инструмента и скорости течения (смещения) металла при деформации. Для существующих в промышленности процессов обработки металлов давлением характерен диапазон скоростей деформации $10^{-1} - 10^3, c^{-1}$.

Часто в процессе обработки давлением необходимо заранее знать соотношение между продольной и поперечной деформациями, т.к. это может влиять на геометрические размеры, качество получаемых изделий и технологические параметры процесса. Это сложная задача. Качественное решение иногда можно получить, используя закон наименьшего сопротивления или наименьшего периметра. Трактовка С.И. Губкина: «В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления».

Правило наименьшего периметра – любая форма поперечного сечения тела при осадке с трением на контактной поверхности стремится стать круговой (принимает форму круга, эллипса), имеющей наименьший периметр при данной площади. Это выполняется тогда, когда силы трения на контактной поверхности значительны и коэффициент трения одинаков по всем направлениям (изотропия тре-

ния). При наличии смазки на контактной поверхности можно изменить схему течения металла, и правило наименьшего периметра не будет выполняться.

Под равномерной деформацией следует понимать такую деформацию тела, при которой любые точки (микрообъемы) данного тела претерпевают одну и ту же степень деформации. Равномерную деформацию можно получить при следующих условиях:

- 1 Отсутствие внешнего трения.
- 2 Тело должно быть изотропно.
- 3 Торцы образца и плоскости деформируемого инструмента должны быть плоскопараллельны.
- 4 Равнодействующая нагрузка должна совпадать с осью деформируемого образца.

Кроме первого, все условия для случая идеальной осадки можно выполнить. В реальных условиях сталкиваемся с неравномерной деформацией. При неравномерной деформации происходит:

- 1 Искривление координатной сетки.
- 2 Явление бочкообразования, т.е. образующая не остается прямой, образец похож на бочку, это связано с тем, что контактное трение значительно, внутренние слои получают большую деформацию, чем внешние.
- 3 Явление перехода боковой поверхности на образующей на контактную (контакт инструмента с образцом).
- 4 Явление прилипания – зона, где отсутствует деформация (в средней части).

Внешнее трение препятствует течению металла по контактной поверхности. Основные факторы, вызывающие неравномерную деформацию:

- 1 Несоответствие формы инструмента и формы деформируемого тела.
- 2 Внешнее трение.
- 3 Неоднородность свойств в объеме деформируемого металла.

Неоднородность свойств металла чаще всего в практике появляется из-за неравномерной температуры в объеме тела. Больше обжатие получают горячие средние слои слитка, сопротивление деформации которых меньше, чем поверхностных слоев. В результате в наружных слоях возникают дополнительные растягивающие напряжения, которые могут привести к образованию трещин.

Значительная неравномерность деформации является причиной многих видов брака в процессах обработки металлов давлением: трещин, волнистости, коробления, разрывов, искривления и т.д. Возникающие из-за неравномерной деформации дополнительные растягивающие напряжения могут привести к разрушению металла в процессе пластической деформации и могут оставаться в металле после ОМД, тогда они называются остаточными напряжениями. Они уравновешены в объеме тела, но при всякой механической обработке за счет

удаления части металла равновесие нарушается, изменяются упругие деформации, вызванные остаточными напряжениями, и происходит искажение размеров, иногда разрушение тела. Для снятия остаточного напряжения в наружных слоях производят обработку поверхности обкатка, дробеструйную обработку и т.п.

1.1.4 Связь между напряжениями и деформациями.

Условия пластичности

При упругой деформации связь между главными напряжениями и главными относительными деформациями выражается обобщенным законом Гука:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)],\end{aligned}$$

где ν - коэффициент Пуассона, величина которого зависит от материала, при пластической деформации становится константной.

Если вычислить приращение ΔV объема куба, длина ребра которого в исходном состоянии равна единице, то получим $\Delta V = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$. Если подставить в полученное выражение значения величин $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ из общего закона Гука, то получим $\nu = 1/2$.

В теории пластичности доказано, что соотношения между главными напряжениями и главными относительными пластическими деформациями можно выразить уравнениями, аналогичными по конструкции, обобщенному закону Гука, с использованием модуля пластичности E_1 :

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E_1} \left(\sigma_1 - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} \right), \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E_1} \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right), \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E_1} \left(\sigma_3 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right).\end{aligned}$$

Модуль пластичности E_1 зависит не только от материала, но и от температуры, скорости деформации и упрочнения, что затрудняет определение величины пластической деформации по известным напряжениям. С.И. Губкин для иллюстрации связи между напряжениями и деформациями предложил понятие

механических схем деформации.

Механическая схема деформации – это совокупность схемы главных напряжений и схемы главных деформаций. Она показывает, в каких сочетаниях могут встречаться в процессах ОМД схемы главных напряжений и главных деформаций. Реальны 23 механические схемы деформации.

При известных главных напряжениях σ_1 , σ_2 , σ_3 всегда можно определить схему деформации. Однако при известных главных деформациях для определения схемы напряженного состояния необходимо знать ещё модуль пластичности E .

Пластическая деформация в теле начинается только при определенном, критическом напряженном состоянии. Экспериментально доказано, что при линейном растяжении, например, пластическая деформация начинается тогда, когда нормальное напряжение σ_n достигает предела текучести σ_T .

В ОМД пределом текучести называют истинное нормальное напряжение, т.е. усилие на единицу площади сечения образца в данный момент времени пластической деформации при линейном растяжении с учетом температуры, скорости и степени деформации.

При линейном растяжении условие перехода от упругого состояния к пластическому выражается равенством $\sigma_n = \sigma_T$ $\sigma_T = \frac{\tau_T}{2} = \frac{\tau_{max}}{2}$, где τ_T – предел текучести при сдвиге.

В самом общем случае (объемное напряжение состояния), очевидно, условие перехода от упругого состояния к пластическому, которое называют условием пластичности, должно отражать связь трех главных напряжений с пределом текучести. Одна из формулировок Губера-Мизеса следующая: пластическая деформация в любой точке тела возникает и поддерживается, когда интенсивность напряжений достигает предела текучести $\sigma_i = \sigma_T$.

В общем случае пластическая деформация в теле начнется в тот момент, когда удельная потенциальная энергия изменения формы тела достигнет определенной критической для данного вещества величины. Принимая во внимание, что потенциальная энергия изменения формы тела не зависит от схемы напряженного состояния, можно получить основное уравнение пластичности в следующем виде:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \sigma_T^2, \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести.

Пусть $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Для упрощения (1) рассмотрим три случая:

$\sigma_1 = \sigma_2$, тогда $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T$;

$\sigma_2 = \sigma_3$, тогда $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T$;

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \text{ то же } \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T.$$

Следовательно, при любом значении среднего главного напряжения уравнение пластичности можно записать в виде $\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_T$, где коэффициент β изменяется в пределах $1 \leq \beta \leq \frac{2}{\sqrt{3}} \leq 1,155$. Наибольшее влияние среднее напря-

жение оказывает при плоской деформации $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ тонкого листа.

Аналогично характеристике σ_i существует и характеристика деформации ε_i , определяемая из зависимости:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \text{ которое называется интен-}$$

сивностью деформацией 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.

Это используется для решения практических задач в ОМД. По следующей общей методике: в очаге деформации выбирается бесконечно малый элемент и рассматриваются условия его равновесия. Для чего сумма проекций всех сил на какую-либо ось или несколько координатных осей приравняется к 0. И дополнительно используется уравнение пластичности, устанавливающее связь между главными напряжениями и пределом текучести (по выше приведенным формулам). Далее определяется (если нет в наличии) обобщенная кривая зависимости (упрочнение) $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$. Совместное решение уравнений и использование кривой упрочнения позволяет найти сопротивление деформации. По усилию подбирают машину для ОМД – кривошипный или гидравлический пресс. Помимо того, зная напряжения, возникающие при деформации металла, можно рассчитать на прочность и деформирующий инструмент штамп, волоку и др.

Имеется также метод скольжения (метод характеристик). Используется сетка скольжения (наносится травлением), определяется среднее напряжение в любой точке, лежащее на определенной линии скольжения.

2 СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Все металлы имеют кристаллическое строение, т.е. их атомы (ионы) занимают в пространстве строго определенные места, образуя пространственную кристаллическую решетку. Каждый металл имеет свою кристаллическую решетку. Решетку центрированного куба (2) имеют αFe , Cr, W, Mo, V, а решетку гранецентрированного куба (1) – γFe , Al, Cu, Co, Pb (рисунок 18).

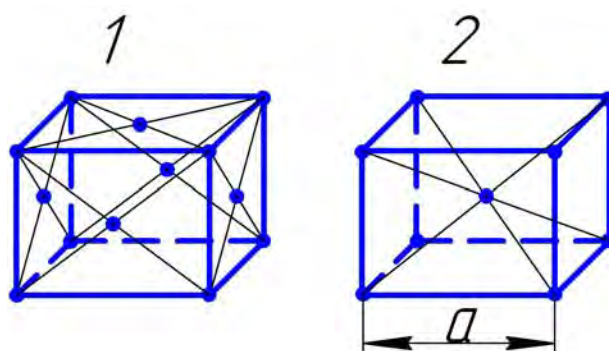
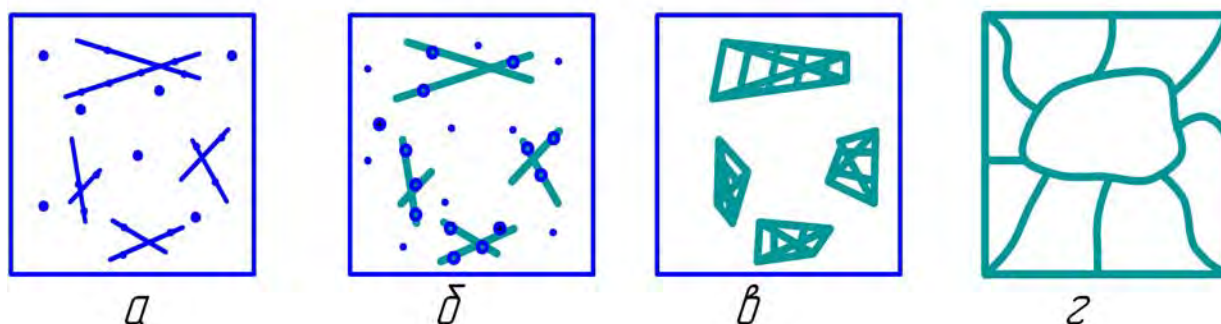


Рисунок 18 – Кристаллическая решетка – ГЦК-1, ОЦК-2

Расстояние между кристаллическими гранями a – весьма мало и измеряется ангстремами, обозначаемыми $\text{Å} = 10^{-8}$ см, т.е. ангстрем равен одной стомиллионной сантиметра. Так, a у $\alpha\text{Fe} = 2.87\text{Å}$.

Кристаллизация металлов, т.е образование кристаллической структуры, происходит при переходе металла из жидкого состояния в твердое.

Процесс кристаллизации протекает следующим образом: сначала образуются центры кристаллизации – элементарные кристаллы (например, гранецентрированный куб при кристаллизации γFe), к ним присоединяются из жидкого металла атомы, создавая кристаллообразование с одинаковой ориентировкой кристаллографических осей, т.е. зерно (рисунок 19).



a – образование центров кристаллизации, b – рост кристаллов,
 v – теснота мешает принять кристаллам правильную форму, z – зерна

Рисунок 19 – Схема образования зерен

Количество образовавшихся зерен зависит от количества возникающих в каком-либо объеме центров кристаллизации. Центрами кристаллизации являются как электронные кристаллики, состоящие из атомов самого металла, так и мельчайшие неметаллические частицы во взвешенном состоянии.

Рассмотрим свойства какого-либо одного зерна-монокристалла. Прочность связи между атомами зависит от расстояния между ними и в различных направлениях она различна (рисунок 20).



Рисунок 20 – Однотипные элементарные ячейки с атомами

Таким образом, механические (и др.) свойства монокристалла зависят от направления и монокристалл обладает анизотропией, т.е. неодинаковыми свойствами в различных направлениях.

В монокристалле имеются направления (плоскости) наименее прочной связи между атомами, так называемые плоскости скольжения, или спайкости, по которым и будет происходить деформация, независимо от направления действующей силы. Плоскостями скольжения в монокристалле обычно являются кристаллографические плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов.

2.1 Деформация монокристалла и поликристалла

Приложением внешних сил в кристалле можно вызвать как упругую, так и пластическую деформации. Пластическая деформация протекает под действием касательных напряжений, вызывающих два основных вида деформации: скольжение, или сдвиг, и двойникование. Скольжение – наиболее характерный вид деформации при обработке металлов давлением. При скольжении одни слои атомов скользят по другим слоям, причем они перемещаются на дискретную величину, равную целому числу межатомных расстояний. В промежутках между плоскостями скольжения пластическая деформация не происходит. Скольжение не охватывает сразу весь объем кристалла, а происходит сначала по той плоскости, где большее скопление атомов, а затем по другим (рисунок 21).

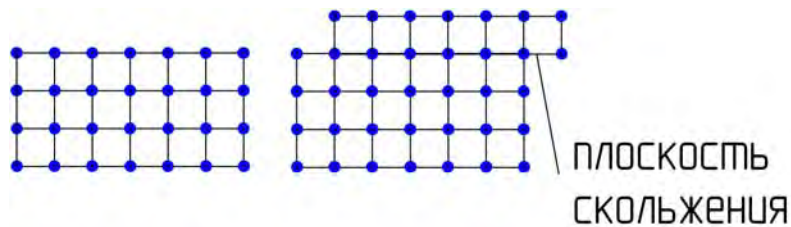


Рисунок 21 – Деформация монокристалла

Экспериментально установлено, что полосы скольжения отстоят одна от другой в среднем на расстоянии 1 мкм при расстоянии между соседними атомными плоскостями 10^{-4} мкм.

Двойникование представляет собой поворот одной части кристалла в положение зеркально симметричное другой его части (рисунок 22).

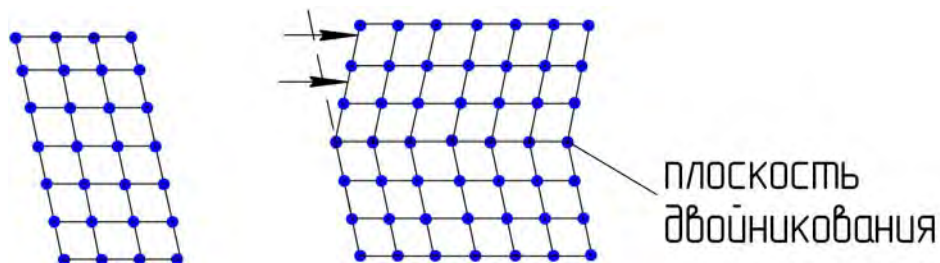


Рисунок 22 – Деформация монокристалла

Плоскостью симметрии является плоскость двойникования. Двойникование отличается от сдвига (скольжения) тем, что меняется положение кристаллографических плоскостей.

При статическом нагружении двойникование наблюдается редко, при деформировании ударом – значительно чаще.

Деформация поликристалла протекает тремя путями:

- 1 Скольжение.
- 2 Двойникование.
- 3 Межзеренное перемещение.

Деформация поликристаллического тела складывается из деформации отдельных зерен – внутриверенной деформации и по границам зерен – межзеренной деформации. Отдельные зерна деформируются скольжением и двойникованием аналогично монокристаллу. Установлено, что деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна вытягиваются в направлении наибольшей деформации и появляется определенная ориентировка зерен в одном направлении. Таким образом, микро-

структура металла приобретает волокнистый характер.

Под действием усилий, приложенных к поликристаллу, деформация происходит не в одном, а во многих различных направлениях. Чем металл мелкозернистее, тем больше в нем плоскостей скольжения, и тем, следовательно, более однородны его свойства в различных направлениях. Связь (силы сцепления) между зернами расположена по их границам. Чем больше протяженность этих границ, тем сильнее связь. Таким образом, мелкозернистый металл обладает большей связью между зернами, чем металл крупнозернистый, т.е. мелкозернистый металл прочнее и однороднее крупнозернистого.

2.2 Влияние пластической деформации на структуру и свойства поликристалла

Под началом пластической деформации поликристаллического тела в целом, видимо, нужно понимать тот момент, когда преобладающее большинство зерен уже начало деформироваться пластически. Прежде всего деформируется кристаллическая решетка, превращаясь из прямоугольной в косоугольную, а затем уже по мере роста напряжений деформируются и даже разрушаются зерна.

Вместе с изменением формы зерен в процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки. Когда кристаллические решетки большинства зерен получают одинаковую ориентировку, возникает текстура. Любой процесс обработки давлением сопровождается развитием кристаллографической текстуры деформации. Текстура создает кристаллическую анизотропию, при которой наибольшая разница свойств проявляется для направлений, расположенных под углом 45° друг к другу.

При холодной пластической деформации характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость) уменьшаются с увеличением степени деформации, а прочностные характеристики (пределы упругости, пропорциональности, текучести, прочности, твердость) увеличиваются. С увеличением степени деформации повышается электросопротивление и уменьшаются сопротивление коррозии, теплопроводность, магнитная проницаемость.

Совокупность вышеупомянутых явлений, связанных с изменением механических, физических и химических свойств металлов в процессе пластической деформации, называют деформационным упрочнением или наклепом.

Упрочнение – явление роста критического сдвигающего напряжения.

Если обозначим через F_1 - площадь поперечного сечения образца до деформации, а F_2 – после деформации, то степень деформации (обжатие)

$$g = \frac{F_2 - F_1}{F_1} 100\% .$$

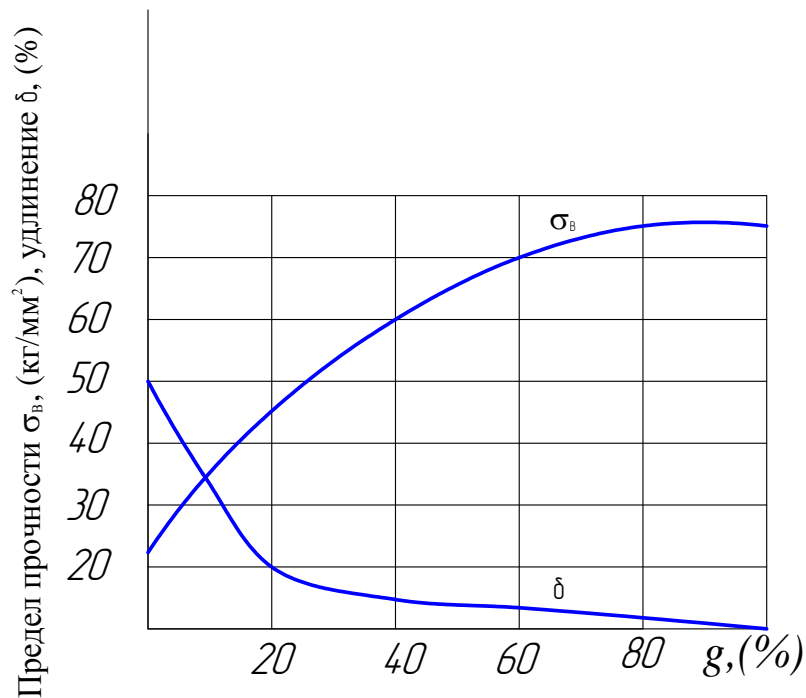


Рисунок 23 – Влияние степени деформации на механические свойства стали

На приведенной диаграмме (рисунок 2.3), показано влияние степени деформации на наклеп, то есть на повышение прочности и снижение пластичности малоуглеродистой стали. При степени деформации $g = 90\%$ наклеп приводит к разрушению металла, так как $\delta = 0\%$.

Наклепом можно повысить прочность и твердость металла в несколько раз. При наклепе увеличивается объем металла за счет образования микропустот (изменение объема в пределах 0,25%).

Наклепанный металл неустойчив и самопроизвольно стремится к переходу в более устойчивое состояние. Чем подвижнее атомы, тем легче им перейти в более устойчивое состояние. Поэтому нагрев металла, повышающий подвижность атомов, сначала влечет за собой перестройку косоугольной системы решетки в прямоугольную. При этом механические свойства становятся близкими к исходным (до наклепа), т.е. происходит возврат свойств. Таким образом, возврат (отдых) – это процесс частичного разупрочнения и восстановления свойств. Абсолютная температура нагрева наклепанного металла, необходимая для возврата свойств, называется температурой возврата $T_{\text{возвр}}$. Согласно данным А.А. Бочвара, возврат для чистых металлов начинается при температурах

$(0,25 - 0,30) T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления металла по абсолютной шкале Кельвина, т.е. $T_{возвр} = (0,25 - 0,30) T_{пл}$.

Примеси, растворимые в металле, повышают температуру возврата. Возврат повышает сопротивление коррозии и снижает возможность самопроизвольного растрескивания холоднодеформированного металла. Возврат – частичное изменение свойств без изменения структуры.

Нагрев деформированного металла несколько выше $T_{возвр}$ приводит к тому, что из вытянутых или сплюснутых зерен образуются новые зерна, различно ориентированные, с нормальной неискаженной кристаллической решеткой. Процесс этот похож на процесс кристаллизации при затвердевании металла. Волокнистая структура снова переходит в зернистую. Предел прочности и твердость понижаются, удлинение повышается, возвращается пластичность. Этот процесс называется рекристаллизацией, а температура, при которой он начинается, – температурой рекристаллизации. По А.А. Бочвару, $T_{рекр} \geq 0,4T_{пл}$, т.е. абсолютная температура рекристаллизации для каждого металла составляет около 0,4 абсолютной температуры его плавления ($t^0 \text{ C} + 273 = T_{пл} \text{ K}$). Для некоторых металлов и сплавов, однако, наблюдаются значительные отклонения.

При рекристаллизации происходит рост зерна, зависящий от степени деформации при наклепе, от продолжительности нагрева и температуры нагрева. Перегрев металла вызывает сильный рост зерна, понижающий прочность и вязкость металла. Это явление называют перегревом. Иногда при этом происходит не только рост зерен, но и окисление зерен по границам, так называемый пережог. Для каждого металла или сплава должны быть установлены такие режимы деформации и отжига, при которых получаются оптимальные механические свойства. Степень деформации при наклепе, которая влечет за собой максимальный рост зерна при рекристаллизации, называется критической степенью деформации. Чем сильнее была предшествовавшая деформация, тем более мелкое получается зерно. С уменьшением степени обжатия размер зерен при последующем нагреве увеличивается, то есть критическая степень деформации или критический наклеп характеризуются сильным ростом зерен даже при относительно невысоких температурах нагрева после деформации. При каждой температуре имеется критическая степень деформации.

2.3 Горячая и холодная деформация

Таким образом, характер пластической деформации будет зависеть от соотношения процессов упрочнения (наклепа) и разупрочнения (возврата, рекристаллизации).

Если рекристаллизация в процессе деформации проходит настолько полно, что металл при окончании обработки имеет рекристаллизованную структуру

без следов упрочнения, то такая обработка называется горячей. Горячая деформация протекает при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Если деформация сопровождается только упрочнением без рекристаллизации и металл при окончании обработки имеет структуру наклепанного металла, то эта обработка называется холодной, т.е. – это деформация, при которой разупрочняющие процессы – возврат и рекристаллизация – не происходят. Температурный интервал холодной деформации лежит ниже температуры начала возврата.

Если металл при окончании деформации имеет структуру, не полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется неполной горячей деформацией, т.е. неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации. Рекристаллизация не успевает закончиться во время деформации, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен в металле остается деформированной, и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению материала. Неполная горячая деформация наиболее вероятна при температурах, незначительно превышающих температуру рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке металлов давлением.

Неполная холодная деформация – деформация, при которой рекристаллизация не происходит, но протекает процесс возврата. Температура деформации несколько выше температуры начала возврата, а скорость деформации не превышает скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

Горячую обработку давлением применяют как для переработки исходного литого материала в виде слитков, так и последующих обработок полученных полуфабрикатов (заготовок). Для холодной обработки давлением применяют, как правило, металл в виде тех или иных заготовок, прошедший предварительно горячую обработку давлением.

Горячая обработка давлением исходного литого слитка стали деформирует и изменяет ее первоначальное дендритное строение, вытягивая и ориентируя кристаллиты в направлении течения металла. В результате образуется так называемая полосчатая или волокнистая макроструктура, обуславливающая макрографическую неоднородность поковок и проката и необходимость рассматривать их механические качества с учетом направления волокон: вдоль или поперек образца. Сталь после горячей обработки имеет анизотропию механических качеств: в продольном направлении они лучше, в поперечном хуже.

При горячей обработке уплотняется структура, т.е. повышается удельный

вес, за счет заполнения газовых пустот. Удельный вес литой стали 6,9 - 7,0г/см³, после прокатки – 7,8г/см³.

При холодной обработке металлов несколько уменьшается удельный вес, за счет образования микропустот. При холодной обработке меняются все специальные свойства: увеличивается электросопротивление, уменьшаются магнитная проницаемость, сопротивление коррозии и др., а также уменьшаются характеристики пластичности и увеличиваются прочностные характеристики (пределы прочности, упругости, твердость и др.).

3 ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ МЕТАЛЛА

Пластичность характеризует способность металлов и сплавов деформироваться без разрушения. Таким образом, чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает без разрушения.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многочисленные факторы, основные из них:

- 1) состав и структура деформированного металла;
- 2) характер напряженного состояния при деформации;
- 3) неравномерность деформации;
- 4) скорость деформации;
- 5) температура деформации;
- 6) степень деформации;
- 7) термический режим деформации (промежуточные подогревы, термическая обработки и др.).

Изменяя те или иные из перечисленных выше факторов, можно влиять на пластичность материала. Поэтому пластичность материала (высокая или низкая) зависит от условий деформации.

3.1 Влияние состава и структуры металла

Пластичность металла находится в прямой зависимости от его химического состава. Каждый элемент оказывает определенное влияние на пластичность металла.

Увеличение содержания углерода (С) понижает пластичность стали и повышает ее предел прочности. При содержании С свыше 1% ковка стали затруднительна и требует режима нагрева в узком интервале температур даже при небольших обжатиях. Углерод влияет на пластичность и механические качества стали сильнее других элементов. Большое влияние на пластичность металлов

оказывают элементы, входящие в их состав как примеси: сера, фосфор, олово, сурьма и др., а также газы: водород, азот (нитриды), кислород (оксиды). Сера – вредная примесь – присутствует в стали в виде FeS – в соединении с железом, имеет низкую температуру плавления (985C°), легко плавится и вызывает красноломкость стали.

Фосфор – также вредная примесь в виде твердого раствора в феррите. При повышенном содержании фосфора твердость стали повышается, сталь имеет крупнозернистый излом и становится хладноломкой.

Кислород в стали содержится в виде закиси железа (FeO), кремнезема, глинозема и других оксидов и является составной частью неметаллических включений. Он вызывает рост зерен и образование трещин. При неправильном нагреве соединения кислорода, располагаясь по границам зерен, могут вызвать перегрев и пережог стали, что приводит при горячей механической обработке к ее разрушению.

Водород в стали вызывает трещины при ковке и приводит к хрупкости сталей, вызывая в них флокены.

Азот повышает твердость и хрупкость стали, затрудняет ее ковку.

Наряду с постоянными примесями в сталь вводится ряд элементов, легирование которыми придает стали те или иные свойства, в том числе повышает сопротивление пластической деформации.

Никель увеличивает вязкость стали и ее прочность.

Хром, как и никель, повышает прочность, увеличивает твердость стали.

Ванадий повышает вязкость стали, увеличивает мелкозернистость, твердость и стойкость при высоких температурах.

Молибден и вольфрам повышают твердость и сопротивление деформации. Свойство сталей, легированных вольфрамом и молибденом, сохранять твердость при высоких температурах используется при изготовлении быстрорежущей стали.

Марганец, понижая пластичность, повышает сопротивление деформации средне- и высокоуглеродистой стали.

Кремний еще более, чем марганец, повышает сопротивление деформации углеродистой стали.

Таким образом, пластичность стали снижается с увеличением содержания в ней C, Mn, Si, S, P и всех легирующих элементов.

Для меди и ее сплавов особенно вредной примесью является висмут.

Сурьма уже при содержании 0,02% оказывает вредное влияние при обработке латуни.

Медь, содержащая кислород в виде закиси меди в количестве 0,8%, не пригодна для изготовления проволоки и труб.

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации.

Неоднородность микроструктуры металлов и сплавов снижает пластичность. Сильное влияние оказывает на пластичность наличие избыточной фазы в виде интерметаллических соединений. Однофазный металл (сплав) при прочих равных условиях всегда более пластичен, чем двухфазный. Объясняется это тем, что в двухфазном металле фазы имеют неодинаковые механические свойства, деформация получается неравномерной. Мелкозернистый металл более пластичен, чем металл прокатанной или ковальной заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

3.2 Влияние схемы напряженного состояния

Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Схема всестороннего объемного сжатия наиболее благоприятна для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутривитеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность, и самой низкой пластичностью характеризуется схема всестороннего объемного растяжения, которая встречается при производстве бесшовных труб.

3.3 Влияние неравномерности деформации

Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений – растягивающих и сжимающих. Растягивающие напряжения всегда понижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, сама неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, тем самым снижая допустимую деформацию без разрушения, так как напряжение от внешней нагрузки (растяжения) суммируется с остаточными растягивающими напряжениями и разрушение наступает при меньшей нагрузке.

3.4 Влияние скорости деформации

С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается: имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Общим в оценке влияния скорости деформации можно считать: если повышение скорости деформации затрудняет разупрочняющие процессы в металле во время деформации, то это снижает пластичность. Отмеченные закономер-

ности характерны для распространенных в промышленности процессов ОМД. Влияние на пластичность деформации при сверхвысоких скоростях исследовано еще недостаточно. Имеются, в частности, данные, что при штамповке взрывом пластичность значительно повышается у углеродистых и легированных конструкционных сталей и некоторых сплавов, труднодеформируемых в обычных условиях.

3.5 Влияние температуры

Качественно зависимость пластичности от температуры можно представить графически (рисунок 24).

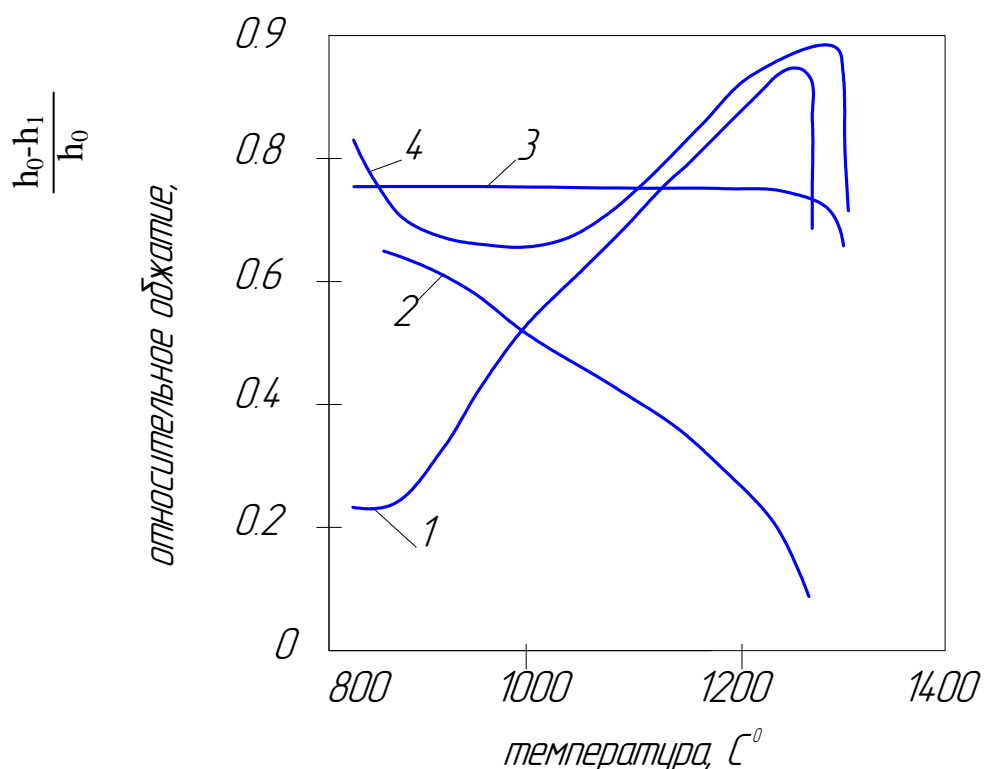
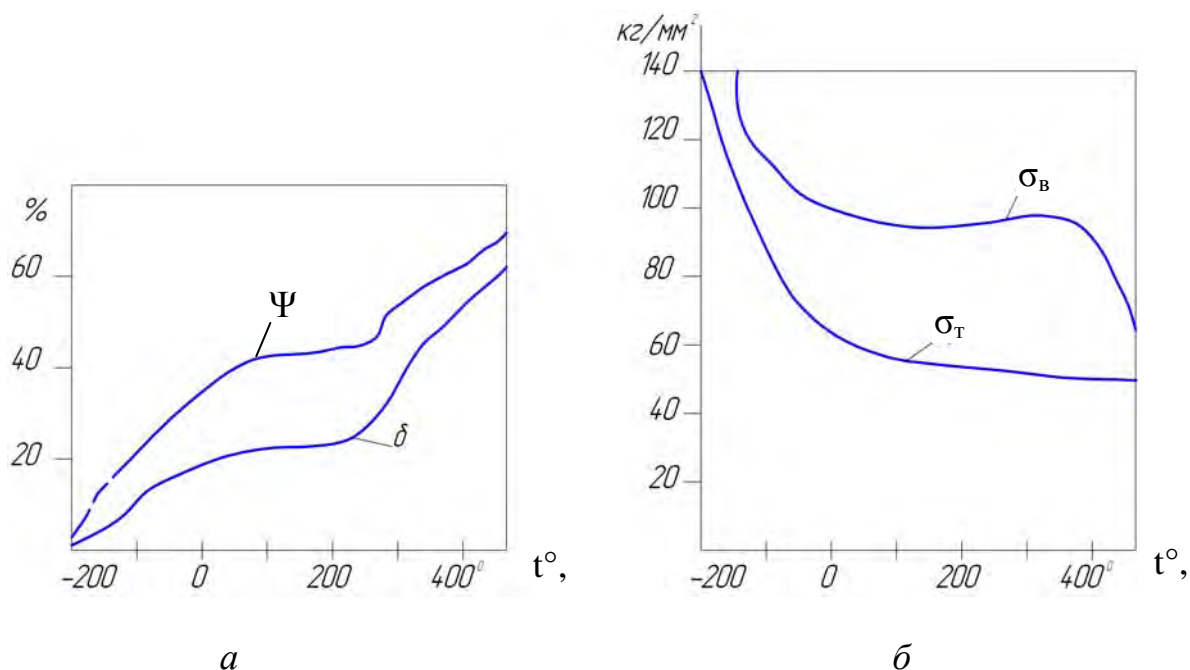


Рисунок 24 - Зависимость от температуры относительного обжатия для разных сталей

По оси ординат отложено относительное обжатие $\frac{n_0 - n_1}{n_0}$, при котором наступает разрушение образца (предел пластичности). Мало- и среднеуглеродистые стали (1) с повышением температуры становятся более пластичными, в то же время высоколегированные специальные стали (2) в ряде случаев имеют большую пластичность в холодном состоянии.

Пластичность шарикоподшипниковой стали (3) практически не зависит от температуры. Технически чистое железо (4) в интервале 800 – 1000°C характе-

ризуется резким снижением пластических свойств. При температурах, близких к температуре плавления (для сталей 1250 – 1300°С), пластичность всегда резко снижается из-за возможного перегрева и пережога. Перегрев приводит к чрезмерному росту зерен деформированного металла, а пережог выражается в окислении границ выросших зерен; металл становится хрупким и непригодным к дальнейшей деформации. При увеличении температуры пределы текучести и прочности обычно падают, а относительное удлинение δ и сужение ψ увеличиваются (рисунок 25).



Ψ – относительное сужение площади поперечного сечения при разрыве образца:

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% .$$

δ – относительное удлинение, $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% ,$

где l_0 и l_1 – длина образца до и после разрыва,

F_0 и F_1 – площади исходного образца и шейки после разрыва,

σ_B – предел прочности, σ_T – предел текучести

Рисунок 25 – Влияние температуры на пластичность (а) и прочность стали (б)

С повышением температуры пластичность металла, как правило, увеличивается, предел прочности, сопротивление деформации и предел текучести уменьшаются. При 200-300° наблюдается явление синеломкости, выделение карбидов и нитридов, что снижает пластичность.

3.6 Нагрев металла перед обработкой давлением

Нагрев материалов перед ОМД должен обеспечить высокую пластичность и наименьшее сопротивление деформации. Неправильный режим и высокая температура могут вызвать усиленное окалинообразование, обезуглероживание, перегрев и пережог, ухудшающие качество металла и приводящие его к браку.

В процессе нагрева в существующих нагревательных устройствах всегда происходит окисление металла с образованием окалины. Наружный, самый тонкий слой окалины состоит из Fe_2O_3 , средний из Fe_3O_4 и внутренний, самый толстый слой, из FeO (рисунок 26).

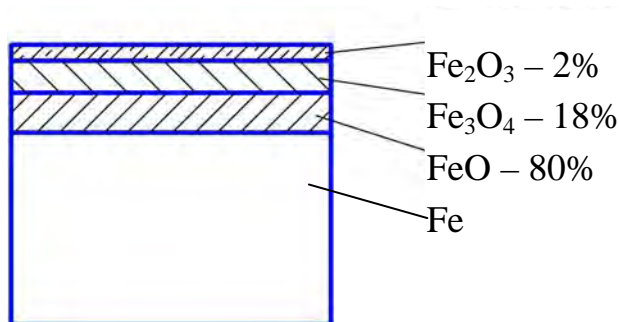


Рисунок 26 – Окисление металла

Образование окалины при нагреве является источником потерь годного металла и является источником дефектов при прокатке.

Для уменьшения угара процесс горения газов должен протекать при наименьшем избытке воздуха. В печи нужно иметь восстановительную атмосферу. Величина угара тем меньше, чем больше скорость нагрева.

На процесс обезуглероживания влияют те же факторы, что и на окалинообразование. Наиболее обезуглероживающей средой являются пары воды, углекислота, кислород $\text{Fe}_3\text{C} + 1/2\text{O}_2 = 3\text{Fe} + \text{CO}$.

При нагреве стали выше критической точки A_{C3} происходит рост зерен, которые укрупняются, связь между ними ослабляется и механические свойства ухудшаются, вследствие чего металл при ОМД дает трещины и рванины. Такой случай на практике называют перегревом.

Наряду с перегревом имеет место при нагреве до высоких температур пережог. При температурах, близких к точке плавления, в металл проникает кислород, который окисляет зерна, в результате чего связь между ними настолько ослабляется, что металл при ОМД разваливается на части. Чем выше содержание углерода в стали, тем при более низкой температуре происходит пережог. Из легированных наиболее чувствительны к пережогу хромистые, никелевые и хромоникелевые стали. Таким образом, максимальная температура нагрева для

различных марок стали должна быть различной. Для углеродистых сталей ее принимают на 100-150°C ниже линии солидуса.

Скорость нагрева до заданной температуры зависит от ряда факторов, главнейшими из которых являются температура рабочего пространства печи, способ укладки заготовок на под (одиночная, вплотную, на подставке и т.д.), размеры и конфигурация заготовок и физические свойства металла (теплоемкость, теплопроводность, удельный вес и др.).

Чем выше температура печи, тем меньше время нагрева. Разница между температурой рабочего пространства печи и требуемой температурой нагрева носит название конечного температурного напора. Величина его обычно составляет 100-150°C. Одиночная круглая заготовка нагревается в 2 раза быстрее, чем такие же заготовки, лежащие вплотную друг к другу.

Температуропроводность α отражает совместное влияние теплопроводности, теплоемкости и удельного веса на процесс его нагрева:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C\gamma},$$

где λ – теплопроводность, C – теплоемкость, γ – удельный вес.,

α – в зависимости от системы единиц λ , C , γ будет выражена в см²/сек или м²/сек.

Чем больше температурный перепад между рабочим пространством печи и поверхностью заготовки, тем выше будет и разница температур (температурный градиент) по сечению заготовки в процессе нагрева. Он увеличивается с уменьшением температуропроводности и с увеличением сечения нагреваемой заготовки.

Температурный градиент обуславливает в нагреваемом металле появление термических напряжений, которые при наличии остаточных напряжений в холодной заготовке, в **первый** период нагрева, т.е. до перехода через интервал структурных превращений ($A_{C1} - A_{C2}$), могут вызвать нарушение целостности металла – появление внутренних микро- и макротрещин. Пока не пройден температурный интервал структурных превращений, нагрев осуществляется посредством постепенного повышения температуры печи или путем продвижения заготовки в зоны более высоких температур печи. Этот первый период нагрева составляет примерно 60-70% всей продолжительности нагрева слитка.

Второй период нагрева, т.е. от критических температур до конечной, следует вести с максимальной технически возможной для данной печи скоростью. Сталь, пройдя структурные превращения, становится настолько пластичной, что опасность появления трещин отпадает, а медленный нагрев ей теперь будет вреден из-за усиления роста зерна, обезуглероживания и образования окалины.

Для ориентировочного определения допустимой скорости нагрева холодных заготовок и слитков может служить формула Н.Н.Доброхотова:

$$T = \alpha K D \sqrt{D}, \quad (6)$$

где α – коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок;

T – время нагрева в час.;

D – диаметр заготовки (слитка) в м.;

K – коэффициент, принимаемый для углеродистой и низколегированной стали равным 12,5; для высоколегированной – 25.

Время, определяемое по приведенной формуле, включает выдержку, необходимую в конце нагрева для выравнивания температуры по сечению слитка заготовки. Это время T продолжительности нагрева относится к пламенным печам, а для электрических печей другие данные.

Слишком быстрое охлаждение может также привести к образованию в результате термических напряжений наружных трещин. Чем меньшую теплопроводность имеет сталь и чем больше размер изделия, тем медленнее должно быть охлаждение. Охлаждение (в порядке увеличения продолжительности) осуществляется:

- на воздухе;
- на воздухе в штабелях;
- в ящиках (ямах) с закрытыми крышками;
- в закрытых ящиках (ямах) с засыпкой песком, золой, шлаком и т.п.

Поковки из высоколегированной инструментальной стали даже малых размеров и из конструкционной стали, начиная с \varnothing 500 мм, охлаждаются в печах.

3.7 Нагревательные устройства

Для нагрева слитков и прочих заготовок применяют пламенные печи, а для мелких и средних заготовок используют электрические нагревательные устройства.

По конструктивным признакам нагревательные устройства можно разделить на печи периодического действия (камерные) и непрерывного действия (методические, полуметодические и т.д.).

В камерных печах металл в процессе нагрева остается неподвижным, температура в любой точке печи примерно одинакова; загрузка и выдача металла производится периодически.

В печах непрерывного действия металл передвигается на поду печи или вместе с подом (конвейерные печи) от места загрузки в печь до места выгрузки из печей с помощью специальных механизмов - толкателей; температурный режим по длине печи методически (постепенно) изменяется от минимальной

температуры до заданной; загрузка и выдача металла осуществляется без нарушения теплового режима печи.

В прокатном производстве применяются нагревательные устройства для слитков и методические печи для заготовок. В кузнечных цехах применяют камерные печи со стационарным подом (горны, щелевые печи и т.д.). В прессовых цехах нагрев производят в методических или камерных печах с наклонным подом и в установках с электроприводом. Нагревательные устройства по своей конструкции должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1 обеспечить равномерный нагрев по сечению и высоте;
- 2 исключить перегрев и пережог, минимальные окалинообразования;
- 3 иметь высокую производительность при низком расходе топлива;
- 4 быть надежными в эксплуатации и обеспечивать полную автоматизацию нагрева.

Методические печи трехзонные: 1-ая зона подогрева до 800 – 900°C; 2-ая зона - сварочная зона до температуры протяжки 1100 – 1250°C; 3-я зона выдержки (томильная) для выравнивания по всему сечению, температура в которой на 50 – 100°C ниже, чем во 2-ой зоне.

4 ПРОКАТКА

Прокаткой называется процесс деформации металла при прохождении его между двумя вращающимися валками. При прокатке уменьшается толщина заготовки и увеличивается ее длина и ширина (частично). В настоящее время прокатке подвергается 75 – 80% всей выплавляемой стали и 55% выплавляемого цветного металла. Если сравнивать прокатку с другими видами ОМД (прессование, волочение), то она более производительна и ее продукция более дешевая.

4.1 Классификация процессов прокатки

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

При продольной прокатке металл деформируется (обжимается) между двумя валками, 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 (рисунок 27).

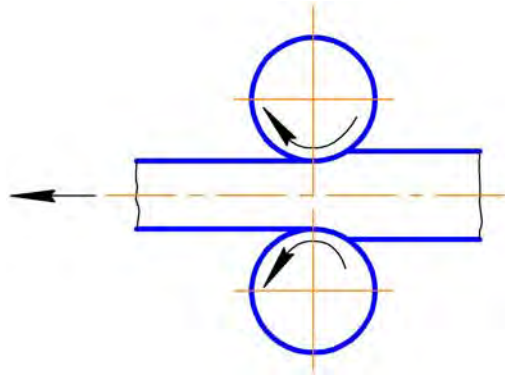


Рисунок 27 – Схема продольной прокатки

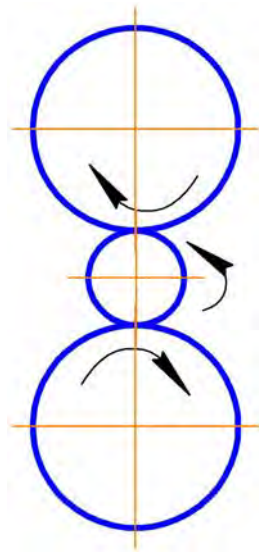


Рисунок 28 – Схема поперечной прокатки

При поперечной прокатке, валки, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке, которая деформируется вдоль оси валков (рисунок 28).

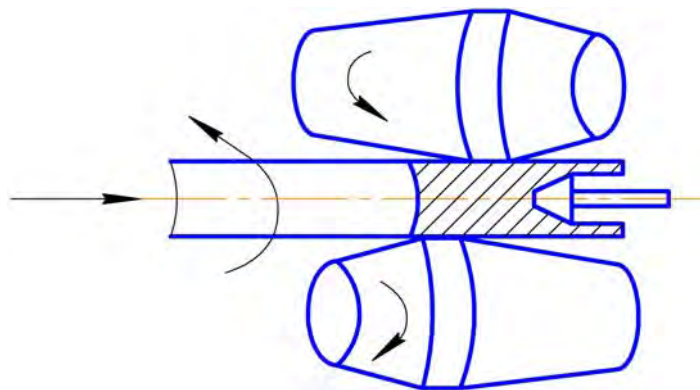


Рисунок 29 – Схема кривой прокатки

При косо́й прокатке, благодаря расположению валков под углом, заготовка кроме вращательного движения имеет еще и поступательное. С помощью этой прокатки получают пустотелые заготовки для бесшовных труб и периодический прокат (рисунок 29).

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 или зоной деятельности (рисунок 30).

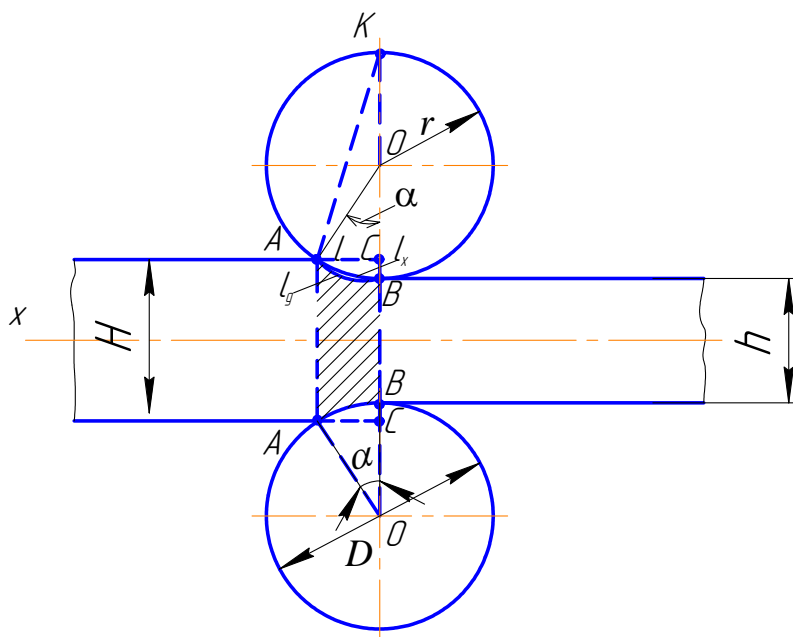


Рисунок 30 – Схема продольной прокатки

Металл соприкасается с каждым из валков по дуге АВ, которую называют дугой захвата – l_q .

Проекция дуги захвата на горизонтальную ось называется длиной очага l . Центральный угол α , соответствующий этой дуге, называется углом захвата. Его значения могут быть от 15° до 32° ; $H - h = D(1 - \cos \alpha)$, чем α , тем $>$ $(H - h) l_q = \frac{\pi d \alpha}{360^\circ}$. Часто длину дуги l_q ввиду небольшого угла захвата заменяют длиной хорды $l_x = AB$.

$$\lambda = \frac{F_{\text{до прокат.}}}{F_{\text{после прокат.}}},$$

где λ – коэффициент вытяжки; λ от 1,1 – 2,5%.

Длину хорды нетрудно определить из подобия треугольников АВС и АВК, будет равна $l_x = \sqrt{r(H - h)}$, а из прямоугольного треугольника АВС на-

ходим, что длина очага деформации

$$AC = \ell = \sqrt{AB^2 - BC^2} = \sqrt{r(H-h) - \left(\frac{H-h}{r}\right)^2}. \text{ Ввиду того, что второй член под-}$$

коренного выражения весьма мал, величина ℓ может быть принята равной ℓ_x . Из соотношения треугольников АОС и АВС устанавливается связь между диа-

$$\text{метром валов, углом захвата и абсолютным обжатием } \cos \alpha = 1 - \frac{H-h}{D}.$$

4.2 Условия захвата металла валками

Следует рассматривать условия при неустановившемся процессе прокатки для начального момента и при установившемся, когда заготовка уже втянута в валки.

При соприкосновении заготовки с вращающимися валками последние будут оказывать на нее действие сил N , направленных нормально к поверхности валков в точках соприкосновения металла с валками A , и сил трения T , направленных по касательной.

Для выявления действия сил N и T при захвате металла валками спроектируем их на ось X и Y . Получим N_x , T_x , N_y и T_y одного валка, т.к. система симметрична тоже будет относиться ко 2-му валку. Вертикальные силы N_y и T_y , учитывая действие двух валков, производят обжатие конца заготовки. Горизонтальная сила T_x втягивает металл в валки, а N_x – противодействует втягиванию.

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

- 1 если $T_x / N_x = 1$, то вследствие равновесия сил валки будут буксовать;
- 2 если $T_x / N_x > 1$ валки захватят заготовку;
- 3 если $T_x / N_x < 1$ захвата не будет, т.е. прокатка не осуществима.

Рассмотрим 2-ое условие из геометрической схемы сил $N_x = N \sin \alpha$; $T_x = T \cos \alpha$. Известно, что коэффициент трения выражается формулой $f = T/N$, сила трения $T = Nf$, f подставим во 2-е условие $\frac{Nf \cos \alpha}{N \sin \alpha} > 1$, разделив на $\cos \alpha$ числитель и знаменатель, получим основное условие захвата заготовки $f > \tan \alpha$. Это условие показывает, что при неустановившемся процессе прокатки для захвата заготовки коэффициент трения должен быть больше тангенса угла захвата (рисунок 31).

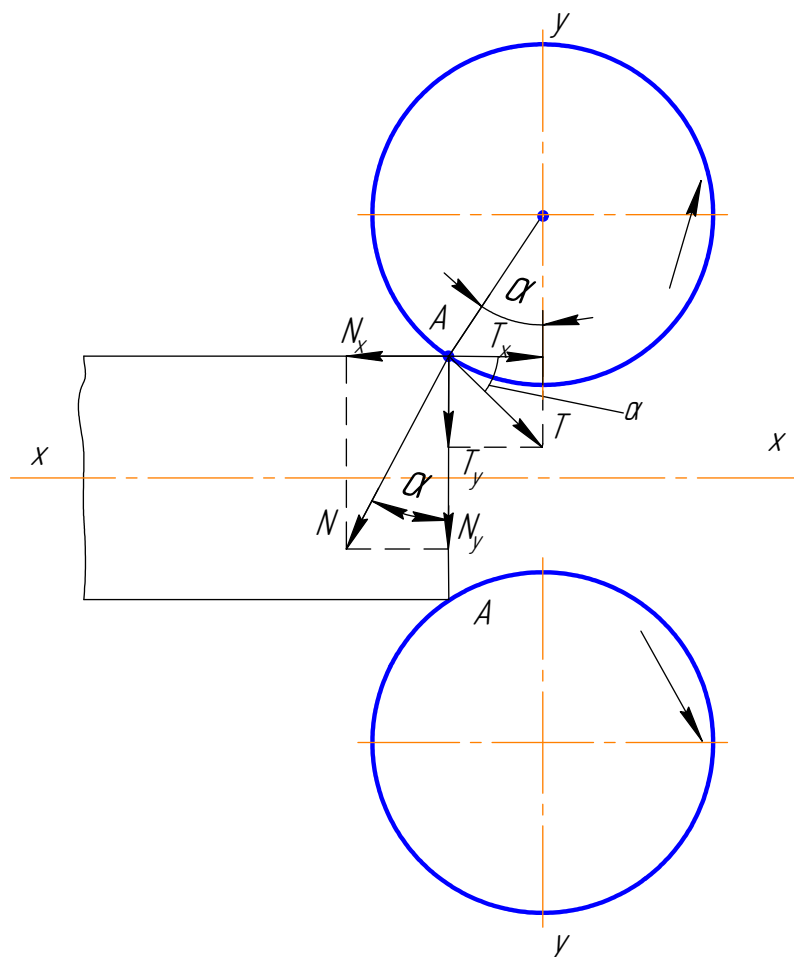


Рисунок 31 – Условие захвата заготовки при неуставившемся процессе прокатки

Это условие можно выразить через угол трения β , зная, что его тангенс численно равен коэффициенту трения, т.е. $\operatorname{tg} \beta = f$. Так как $\operatorname{tg} \beta = T/N$, то, следовательно, β представляет собой угол между силой нормального давления N и равнодействующей R , построенной на N и T . Исходя из уравнений $f > \operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{tg} \beta = f$, можно получить условие захвата, выраженное через угол трения $\beta > \alpha$ (рисунок 32).

Геометрически это условие показывает, что захват заготовки при неуставившемся процессе произойдет в том случае, когда равнодействующая R будет отклонена в сторону прокатки от вертикали $УУ$.

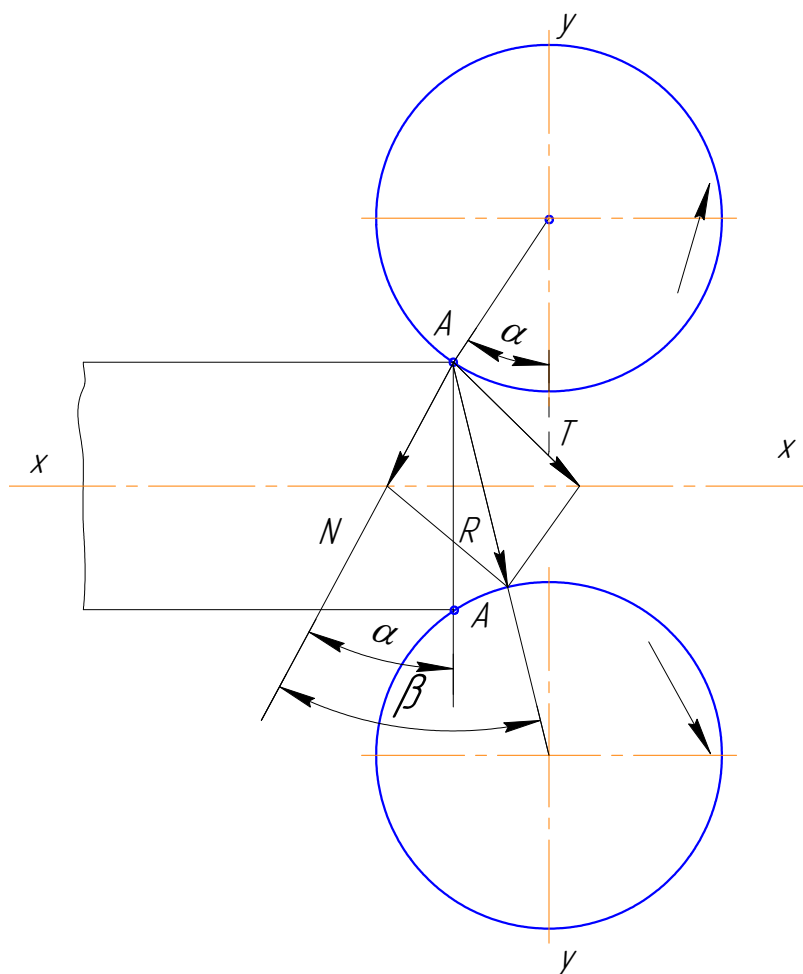


Рисунок 32 – Угол трения β

При $T_x = N_x$, равнодействующая R вертикальна – валки буксуют, при $T_x/N_x < 1$ равнодействующая R отклонена в сторону, противоположную прокатке. Захвата заготовки не будет.

Для получения условия захвата заготовки при установившемся процессе заменим равномерно распределенную нагрузку суммарными сосредоточенными силами T и N , действующими по середине дуги в точке G (рисунок 33).

Воспользовавшись предыдущим выводом о том, что равнодействующая R при захвате заготовки должна быть отклонена в сторону прокатки от вертикали, проведенной через $t. G$ приложения сил, можно записать основное условие захвата, выраженное через угол трения $\beta > \alpha/2$, а через коэффициент трения будет выражаться неравенством $f > \tan \alpha/2$.

Таким образом, захват заготовки при установившемся процессе осуществляется в два раза легче, чем при неустановившемся.

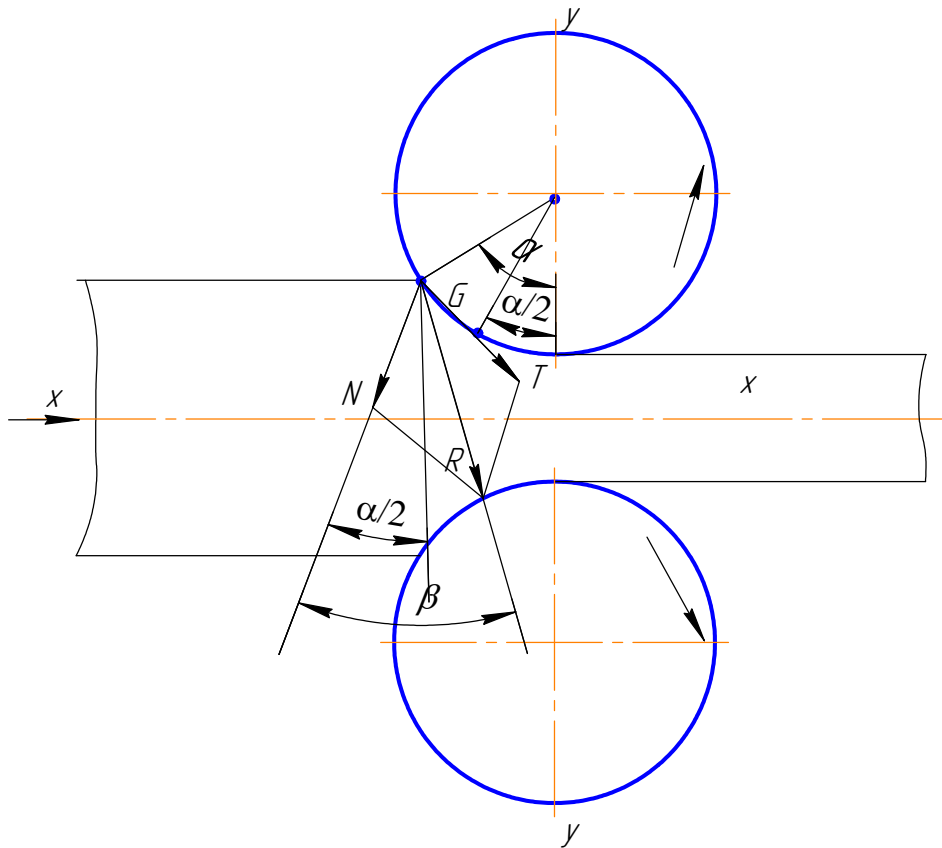


Рисунок 33 – Установившийся режим прокатки

Исследованиями доказано, что при прокатке скорость металла при выходе из валков V_1 несколько больше окружной скорости вращения валков V , а скорость при входе V_0 – меньше, т.е. $V_1 > V > V_0$.

В зоне деформации есть такое сечение, в котором горизонтальная составляющая окружной скорости вращения валков равна скорости движения металла V_m . Это сечение называется нейтральным или критическим.

Влево от нейтрального сечения скорость движения металла меньше скорости движения валков. Эта зона называется зоной отставания. Вправо от нейтрального сечения скорость движения металла больше скорости вращения валков. Эту часть зоны деформации называют зоной опережения.

Опережение металла определяется отношением разности скоростей движения металла и вращения валков и выражается в процентах:

$$S = \frac{V_1 - V}{V} 100\% ,$$

где V_1 – скорость при выходе из валка;

V – окружная скорость вращения валков.

Опережение при прокатке тем больше, чем больше радиус валков и меньше толщина полосы, оно увеличивается также с ростом коэффициента трения и может составлять 3 – 10%.

Уширение металла увеличивается при возрастании диаметра валков, коэффициента трения и снижения температуры металла в процессе горячей обработки. Уширение пропорционально обжатию, оно зависит от толщины и ширины прокатываемой заготовки.

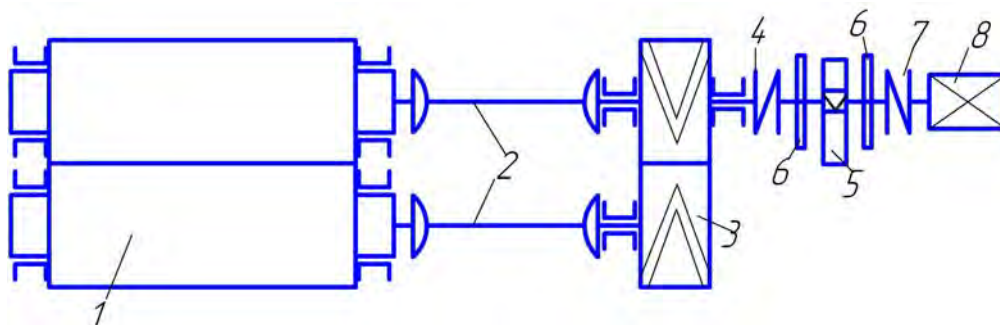
При расчете на прочность валков и других деталей рабочей клетки прокатного стана и при определении мощности двигателя необходимо знать общее (полное) давление металла на валки в процессе прокатки. Полное давление определяют по формуле $P = P_{cp} \cdot F$, где P_{cp} – среднее удельное давление; F – горизонтальная проекция контактной площади металла с валком.

Контактная площадь определяется произведением средней ширины полосы в очаге деформации на длину очага деформации. Для сложных профилей контактная площадь определяется графически или по приближенным формулам. Среднее удельное давление металла на валки определяют по формулам или находят опытным путем.

При определении мощности двигателя сначала находят крутящий момент, необходимый для прокатки.

4.3 Устройство и классификация прокатных станов

Прокатный стан состоит из трех основных частей: рабочей клетки, передаточного механизма и двигателя (рисунок 34).



- 1 – рабочая клетка; 2 – шпиндели; 3 – шестеренная клетка;
 4 – коренная муфта; 5 – редуктор; 6 – маховик; 7 – моторная муфта;
 8 – двигатель

Рисунок 34 – Схема устройства прокатного стана

В рабочей клетке идет прокатка металла. Рабочая клетка состоит из прокатных валков, вращающихся в подшипниках, расположенных в двух вертикальных стойках станины.

Валки приводятся в движение от электродвигателя 8, через редуктор 5, снижающий число оборотов рабочих валков, и шестеренную клетку 3.

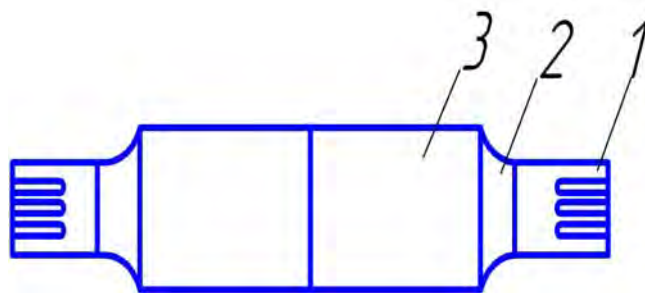


Рисунок 35 – Валок прокатного стана

Прокатные валки (рисунок 35) обжимают металл и придают ему требуемую форму. Прокатный валок состоит из следующих элементов: бочки 3 (гладкой или с ручьями); шеек 2, расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипник валка; трезфов 1, которые предназначены для соединения валка со шпинделем. Валки изготавливают из чугуна или стали.

Вспомогательное оборудование прокатных цехов служит для выполнения целого ряда подсобных и дополнительных работ с прокатываемым металлом: подача металла к валкам, компоновка, резка, правка и т.д. Вследствие большого количества выполняемых работ, вспомогательные машины и механизмы весьма разнообразны. К ним относятся стационарные и летучие ножницы, дисковые пилы, правильные машины, моталки, маркировочные машины, рольганги, подъемные столы, кантователи и т.д.

В зависимости от числа и расположения валков в клетке станы разделяют на дуо, трио, кватро, многовалковые, универсальные с горизонтальным расположением валков, с вертикальными валками, с горизонтальными и вертикальными и косорасположенными валками.

Двухвалковые станы (дуо) (рисунок 36 а) имеют в каждой клетке по два валка. Могут быть с вращением валков в одну сторону – нереверсивные и с переменным направлением вращения для осуществления прокатки в обе стороны – реверсивные. Нереверсивные применяются для прокатки заготовок и сортового металла, тонких листов и труб. Реверсивные применяются для прокатки крупных профилей и толстых листов на блюмингах, слябингах, рельсобалочных и др. станах.

Трехвалковые (трио-станы) (рисунок 36 б) имеют три прокатных валка с постоянным направлением вращения, расположенных в одной вертикальной плоскости. Подъем прокатываемой полосы для задачи ее между верхним и средним валками осуществляется подъемно-качающимися столами, установленными с одной или обеих сторон клетки. К этому типу станам относят сортовые линейные станы.

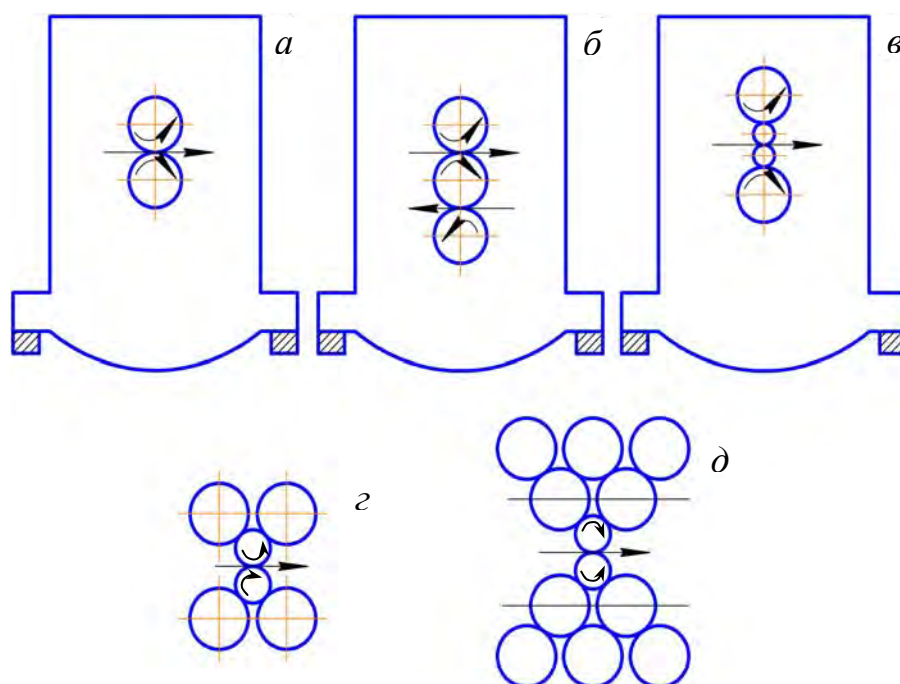


Рисунок 36 – Виды прокатных станов

Многовалковые станы (рисунки 36 в, г, д), к которым относятся 4-х валковые (кватро-станы), шестивалковые (сексто-станы), двенадцативалковые и двадцативалковые, имеют два рабочих валка, а остальные являются поддерживающими – опорными, вращающимися от трения. В 4-х и 6-ти валковых станах приводными являются опорные валки. Такие конструкции позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается давление металла на валки. 4-х валковые станы используются для горячей и холодной прокатки листов, лент, все же остальные – исключительно для холодной прокатки тонких листов и лент.

Универсальные станы кроме горизонтальных валков имеют также вертикальные валки. Изменяя расстояние между валками, можно получить на стане любой прямоугольный профиль, вследствие чего указанные станы и получили название универсальных. Эти станы применяются для прокатки листовой заготовки – слябов и широких длинных полос (шириной более 200 мм), а также для прокатки широкополосных двутавровых балок высотой от 300 до 1200 мм.

4.3.1 Классификация станов по назначению

В зависимости от вида выпускаемой продукции различают: обжимные станы (блюминги, слябинги), заготовочные, рельсоблочные, 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.

Обжимные станы – блюминги, слябинги – крупные станы с валками диаметром 800-1400 мм, длиной бочки 2000 – 2800 мм, для прокатки слитков массой 2 ÷ 25 т и более в заготовки крупных размеров (блюмы и слябы). Эти заготовки являются исходным материалом для крупносортовых, листовых и заготовочных станов.

Заготовочные станы имеют валки диаметром 450-850 мм. На этих станах прокатывают блюмы в заготовки меньших размеров (50x50 ÷ 150x150 мм).

Наиболее совершенные – непрерывные заготовочные станы. К станам для выпуска готового проката.

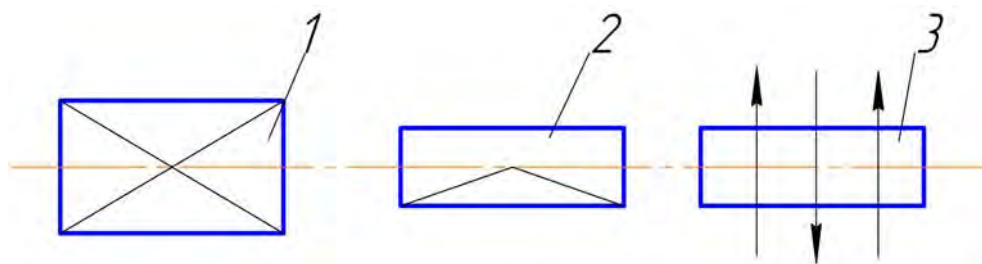
Сортовые станы в зависимости от размеров и назначения изделий разделяют на:

- 1 Рельсобалочные с диаметром валков 750-900 мм.
- 2 Крупносортовые с диаметром валков 500 – 750 мм (круг, квадрат 80-200 мм, двутавровые балки, швеллера № 12-24 и др.).
- 3 Среднесортные с диаметром валков 350-500 мм, используются для производства круга, квадрата 40-80 мм, балки, швеллеры до № 16 и др.
- 4 Мелкосортные станы диаметром валков 250-350 мм, предназначенные для прокатки меньших сечений (круг, квадрат 8-40 мм, уголок до 50x50 мм и др.).
- 5 Штрипсовые с диаметром валков 300-400 мм, используемые для прокатки полос шириной 64-500 мм с толщиной от 1,5 до 10 мм.
- 6 Проволочные с диаметром валков 250-300 мм, прокатывающие катанку диаметром от 5 до 10 мм.
- 7 Толстолистовые с длиной бочки валков 2000-5000 мм, предназначенные для производства толстых листов толщиной от 4 до 60 мм.
- 8 Тонколистовые горячей и холодной прокатки с длиной бочки 700 – 2800 мм.
- 9 Универсальные, используемые для прокатки универсальных полос шириной от 200 до 1500 мм.
- 10 Трубные, используемые для производства бесшовных и сварных труб.
- 11 Колесо- и бандажепрокатные, обеспечивающие получение железнодорожных колес и бандажей. Кроме того, существуют станы для особых (специальных) видов проката – шаропробочные, для прокатки периодических профилей, зубчатых колес и др.

4.3.2 Классификация прокатных станов по расположению рабочих клетей

Простейшим типом этой классификации является одноклетевой стан.

Такие станы имеют широкое распространение при производстве полупродукта (блюминги, слябинги) и готового проката (станы горячей и холодной прокатки листа ленты и др.) (рисунок 37).



1 – двигатель; 2 – шестеренная клеть; 3 – рабочая клеть

Рисунок 37 – Схема одноклетьевого стана

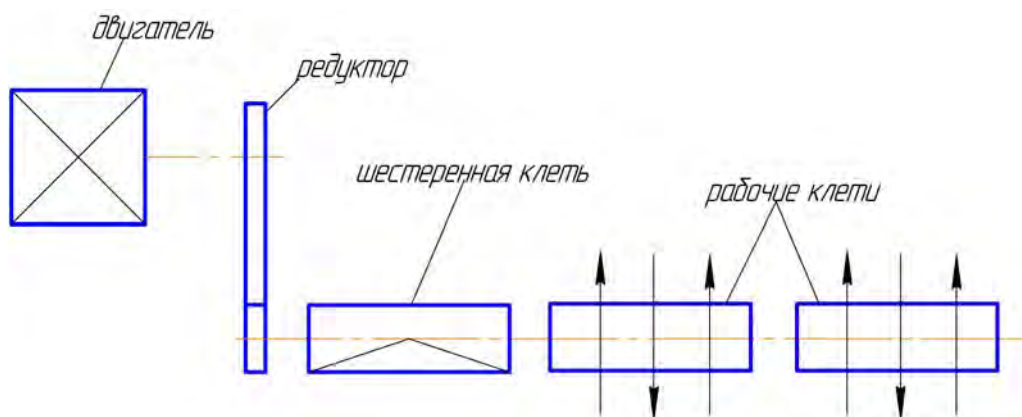
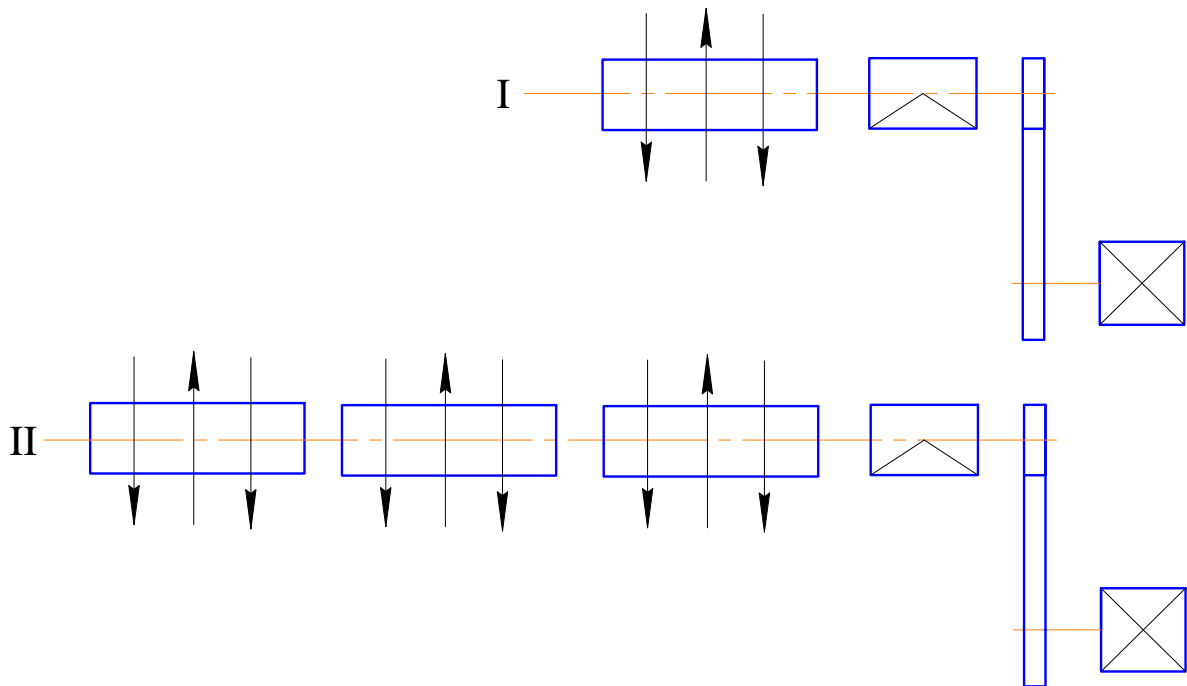


Рисунок 38 – Схема многоклетьевого стана

Многоклетьевые станы (рисунок 38) применяют главным образом как заготовочные, крупносортовые и среднесортные. Недостаток - неменяющееся число оборотов во всех клетях, что препятствует увеличению скорости прокатки, по мере роста длины прокатанной полосы. Это приводит к понижению температуры металла, снижению веса заготовки и уменьшает производительность стана. Эти обстоятельства заставили устанавливать рабочие клетки не в одну, а в несколько линий с последовательным возрастанием числа оборотов валков в каждой линии. На рисунке 39 показана схема двухлинейного прокатного стана, I – обжимная линия скорость меньше, чем во II; II – чистовая линия.

Для дальнейшего разделения скорости прокатки и, следовательно, повышения производительности станов располагают клетки в 3, 4, а иногда в 5 линий. Эти станы используют на старых заводах малых скоростей прокатки.

Заметное увеличение производительности достигается при последовательном расположении клеток, количество которых принимается равным требуемому числу пропусков полосы между валками (рисунок 40).



I – обжимная линия, II – чистовая линия

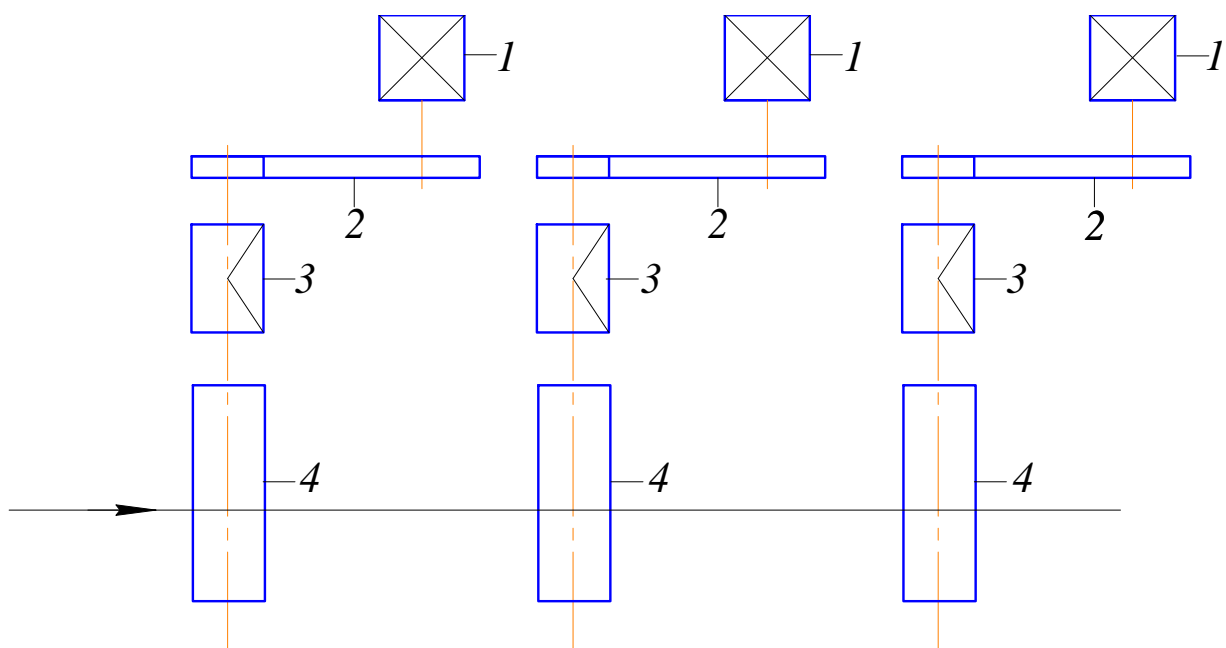
Рисунок 39 – Схема двухлинейного стана

Прокатка на таких станах ведется по принципу «в каждой клетке – один пропуск». Наиболее совершенными станами подобного типа являются непрерывные станы.

Важное условие прокатки на непрерывных станах – постоянство секундного объема металла по клетям, для этого диаметр валков и число их оборотов выбираются такими, чтобы во всех клетях соблюдалось соотношение $V_1 \cdot W_1 = V_2 \cdot W_2 = \dots = V_n \cdot W_n = \text{const}$, где $V_{1..n}$ – скорость выхода металла из валков данной клетки, см/сек; $W_{1..n}$ – площадь сечения полосы при выходе из той же клетки, см².

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

В полунепрерывном стане черновые клетки расположены непрерывно, а чистовые клетки – в линию или в другом порядке. Имеются несколько разновидностей полунепрерывных станов: петлевые зигзагообразные и шахматные. 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 мелкосортового металла и проволоки.



1 – двигатели; 2 – редукторы; 3 – шестеренные клетки; 4 – рабочие клетки.

Рисунок 40 – Схема непрерывного стана

4.3.3 Калибровка валков

Прокатка листовой, полосовой стали и ленты производится в валках, имеющих цилиндрическую, слегка бочкообразную или вогнутую рабочую поверхность.

Сортовую сталь и профили специального назначения прокатывают в калиброванных валках, т.е. в валках, на рабочей поверхности которых вытачивают специальные вырезы. Вырез, сделанный в одном валке, называют ручьем. Вырез, образованный двумя ручьями валков, называют калибром.

Разработка системы последовательных обжатий в ручьях называется калибровкой валка.

Число и профиль ручьев на валках подбирают с таким расчетом, чтобы от сечения исходного слитка или заготовки до сечения окончательного профиля металла требовалось наименьшее число проходов. К концу прокатки металл должен быть еще достаточно горячим и пластичным. Форма калибров бывает весьма разнообразной и зависит от состава стали и требуемого профиля проката. Калибры прокатных валков по назначению разделяются на:

- обжимные или вытяжные;
- черновые или подготовительные;
- чистовые или отделочные.

Обжимные или вытяжные калибры по своей форме могут быть плоские или ящичные 1, ромбические 2, стрельчатые 3, квадратные 4, овальные 5, они показаны на рисунке 41.

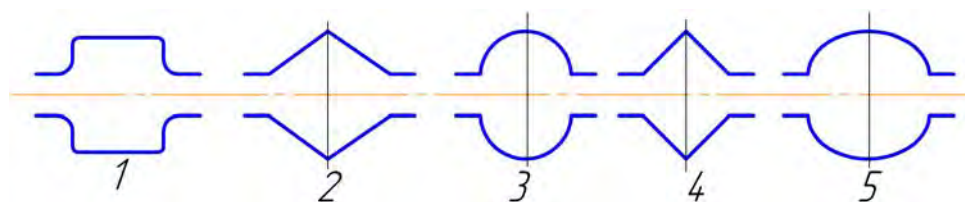


Рисунок 41 – Обжимные и вытяжные калибры

Черновые или подготовительные калибры имеют форму, постепенно приближающуюся к заданному профилю.

Чистовые или отделочные калибры имеют форму окончательного профиля.

По типу калибры делятся на открытые и закрытые. Закрытыми калибрами называются такие, в которых так называемые «гребни» или «бурты» одного валка находятся внутри другого. У открытых гребни расположены один над другим. При калибровке фасонных профилей (уголки, швеллеры, балки, рельсы и др.) необходимо уже в черновых калибрах приближаться к очертаниям готового профиля. Для чистовой прокатки листов делают валки вогнутыми к середине, т.к. листы в средней части вытягиваются больше, чем по краю.

4.3.4 Технологические операции прокатного производства

Основные операции технологического процесса следующие: подготовка исходного материала, нагрев, прокатка и отделка.

При подготовке исходного металла к прокатке с него удаляют различные поверхностные дефекты, что увеличивает выход готового проката. Эта операция особенно необходима при прокате качественной углеродистой и легированной стали.

Соблюдение установленных режимов нагрева, правильный выбор температуры начала и конца прокатки, а также режимы обжатия влияют не только на качество готовой продукции, но и на производительность стана.

Во время прокатки проверяют настройку валков, состояние калибров, заданный режим обжатия. Для контроля за состоянием поверхности проката регулярно отбирают пробы.

После прокатки контроль продолжают во время отделочных операций (резка полос на мерные длины, правки, удаление поверхностных дефектов и т.д.).

Готовый прокат подвергают конечному механическому контролю.

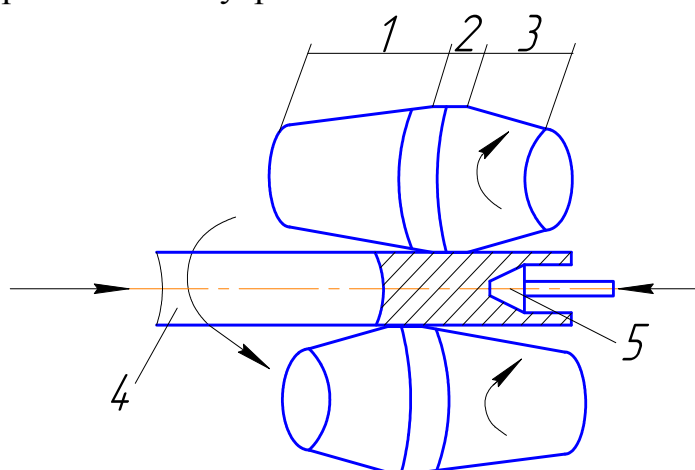
5 ПРОКАТКА И СВАРКА ТРУБ

Изготовление бесшовных труб в основном состоит из двух операций:

- 1 Прошивки цилиндрической заготовки на стане косой прокатки, в результате которой получается трубная заготовка с диаметром и толщиной стенок большими, чем у готовой трубы.
- 2 Раскатка гильзы на готовую трубу на станах периодических или автоматических.

Прошивной стан с бочкообразными валками имеет два рабочих валка с двойной конусностью диаметром от 450 до 1000 мм, расположенных в горизонтальной плоскости. Оси валков в вертикальной плоскости наклонены друг к другу под углом 4-14°. Оба валка вращаются в одном направлении (рисунок 42).

Силы трения направлены по касательной между валками и заготовкой. Заготовка будет вращаться в направлении обратном валкам, при этом она получает поступательное винтовое движение. В заготовке возникают внутренние напряжения, вызывающие течение металла от центра в радиальном направлении, что приводит к образованию внутренней полости.



- 1 – подготовительный участок; 2 – участок поперечной прокатки;
3 – отделочный участок; 4 – заготовка; 5 – оправка (дорн)

Рисунок 42 – Схема прошивки цилиндрической заготовки

Для получения отверстия нужного диаметра и с гладкой поверхностью прокатку ведут с применением оправки – пробки (дорн), удерживающейся на стержне.

На этих станах прокатывают трубные заготовки диаметром от 60 до 650 мм с толщиной стенки гильзы от 10 до 100 мм. Полученные заготовки раскатывают в горячем состоянии на периодических станах. Валки их имеют круглый калибр переменного сечения. Металл подается в валки навстречу их вра-

щению. На этом стане производится прерывно-периодическая (пилигримовая) раскатка горячей гильзы в трубу на цилиндрической оправке.

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.

При изготовлении труб сваркой требуются следующие основные операции: получение плоской заготовки (полосы, штрипса), свертывание заготовки, сварка трубы, калибровка, отделка и правка.

Сварные трубы получают несколькими способами: печной сваркой, электрической и газовой сваркой. Наиболее распространен способ прокатки труб печной сварки на непрерывном стане.

Заготовку-полосу нагревают в газовой печи длиной 40 м до сварочной температуры 1300 -1350°C, и она поступает в стан. В шести валковом стане заготовка свертывается в трубу, и прижатые одна к другой кромки свариваются. Диаметр таких труб от 10 до 114 мм при толщине стенки 2-5мм.

Наибольшее распространение получил способ контактной сварки сопротивлением. Получают трубы диаметром от 6 до 630 мм толщиной стенки от 0,15 до 20 мм. Способом электродуговой сварки под слоем флюса изготавливают трубы большого диаметра, которые используются 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.

6 ВОЛОЧЕНИЕ

Волочение – процесс протягивания проволоки, прутка или трубы через очко специального инструмента (волоки), имеющее несколько меньшее сечение, чем исходная заготовка.

Процесс волочения производится преимущественно в холодном состоянии. Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, весьма разнообразен. Волочением изготавливают стальную проволоку диаметром от 0,002 до 10 мм, калибруют стальные трубы с наружными диаметрами от нескольких мм до нескольких сотен (примерно 500 мм), калибруют стальные прутки с диаметром от 3 до 150 мм. Из цветных металлов волочением изготавливают проволоку, прутки различных сечений, трубы круглого и прямоугольного сечений и т.п.

Волочение позволяет получать изделия с высоким классом точности (по 2-му классу точности допуск – 0,001) и высокой чистотой поверхности (7 – 9 класс).

Вследствие наклепа при волочении значительно повышается предел прочности металла. Например, углеродистая сталь (0,5% С) после горячей прокатки имеет предел прочности около 70 кг/мм², а после волочения 160 кг/мм².

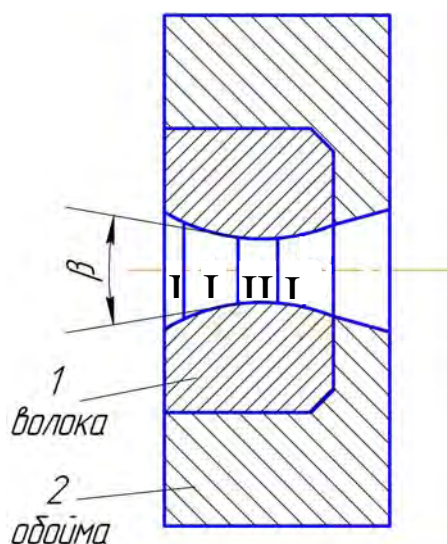
6.1 Устройство волоки

В качестве инструмента для волочения применяют волочильные доски и волоки (фильеры) (рисунок 43). Волочильные доски применяют для волочения пруткового материала большого диаметра и имеют несколько отверстий различного профиля.

Волока или фильер имеет четыре зоны: I – смазочную, II – деформирующую, калибрующую III (очко или поясок) и выходную IV. Калибрующая зона обычно имеет цилиндрическую форму, а остальные зоны – коническую. Угол β рабочего конуса деформирующей зоны II выбирают в пределах (8-24°), в зависимости от вида изделия и химического состава металла.

Чистота обработки деформирующей и калибрующей зон должна соответствовать 9 -11 классам. Материалом для волок служит инструментальная сталь (У7÷9, У12,Х12М), металлокерамические сплавы (ВК3,ВК6) и технические алмазы.

Отверстия в волоках из твердых сплавов изготавливаются электроискровым методом. Полировка отверстий производится на станках с помощью специальных игл и абразивных порошков.



1 – волока; 2 – обойма; I, II, III, IV – зоны волоки

Рисунок 43 – Схема устройства волоки

Стойкость волок зависит от материала волоки, от величины обжатия, от марки деформируемого материала, смазки и т.п. Например, через волоку из твердого сплава можно протянуть около 140 км медной проволоки диаметром

от 1 до 10мм, а через волоку из алмаза можно протянуть до 7200 км медной проволоки с диаметром от 0,2 до 0,3 мм.

6.2 Основные величины, характеризующие деформацию при волочении

При волочении $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$. Схемы напряженно-деформированного состояния при волочении будет иметь вид (рисунок 44):

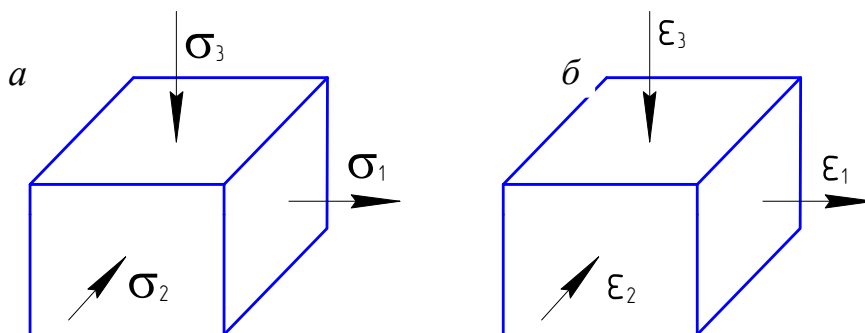


Рисунок 44 – Схемы напряженного (а) и деформированного (б) состояния при волочении

Из наиболее важных величин, характеризующих деформацию при волочении являются:

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

$$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (8)$$

где l_0 и F_0 – длина и сечение заготовки до волочения;

l_1 и F_1 – длина и сечение заготовки после волочения.

2 Относительное обжатие U , оно может быть подсчитано как отношение разности поперечных сечений заготовки до и после волочения к сечению до волочения:

$$U = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\% . \quad (9)$$

Обычно коэффициент вытяжки металла при волочении составляет 1,25 – 1,30; а максимальное обжатие для высокопластичных материалов за одну протяжку не должно превышать 50-60%.

Некоторые виды проката (проволока, трубы и др.) должны иметь очень точное сечение и чистую поверхность. Для этого их подвергают калиброванию,

т.е. протягиванию через волоку установленной формы и размеров без существенного обжатия (8-12%) и вытяжки.

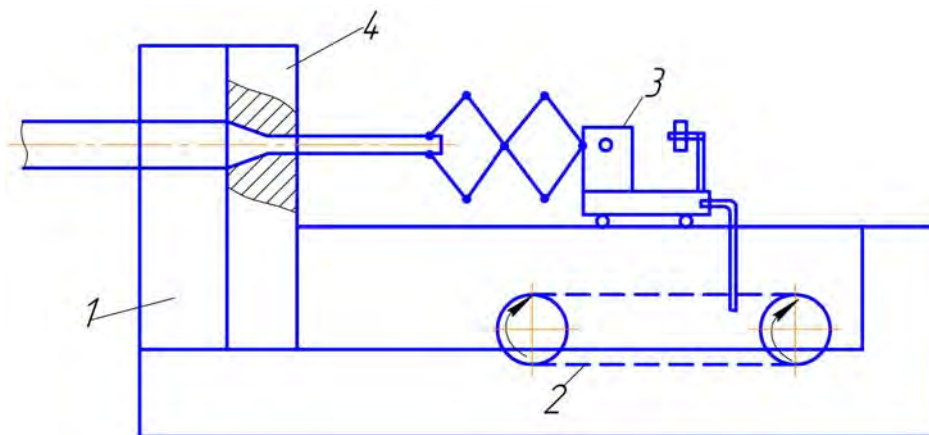
Для нормального протекания процесса волочения важно правильно выбрать величины единичных обжатий по переходам или так называемый маршрут обжатия. Максимальное обжатие за одну протяжку ограничено. При этом напряжение волочения σ_1 , представляющее собой отношение тянущего усилия к площади поперечного сечения прутка (проволоки) после прохода через волоку, не должно превышать предела прочности материала σ_b , т.е. $\sigma_1 < \sigma_b$, где σ_1 – вычисляется по формуле $\sigma_1 = P/F_1$ кг/мм² (Н/м²), где P – усилие волочения, кг (Н), F_1 – площадь сечения после волочения, мм² (м²).

Для волочения без обрывов принимается, что $\sigma_b/\sigma_1 = 1,5 \div 2,5$, откуда $\sigma_1 = 0,56\sigma_b$. Усилие волочения определяется экспериментально по приборам или рассчитывается по формулам.

Суммарные обжатия в зависимости от протягиваемого материала и желаемых конечных механических свойств могут достигать 90-99%.

6.3 Волочильные станы

Основными элементами волочильных станов являются волочильный инструмент и тянущее устройство. Станы могут быть с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепные, реечные, гидравлические и др.) и с намотыванием на барабан (барабанные). Станы с прямолинейным движением прутка чаще всего строят цепными (рисунок 45).



- 1 – станина, 2 – бесконечная цепь, накинута на 2 цепных барабана,
3 – тележка с захватом, 4 – стойка для крепления волок.

Рисунок 45 – Схема цепного волочильного стана

Цепные станы строят с усилием волочения от 0,5 до 150 т. Скорость волочения находится в пределах от 0,03 – 2 м/сек. Для увеличения производитель-

ности станов применяют многониточное волочение. Число одновременно протягиваемых прутков может достигать 10.

Барабанные станы (рисунок 46), в зависимости от характера их работы и количества барабанов, делят на:

- 1) однократные или однобарабанные;
- 2) многократные или многобарабанные, которые работают со скольжением, без скольжения и с противонатяжением.

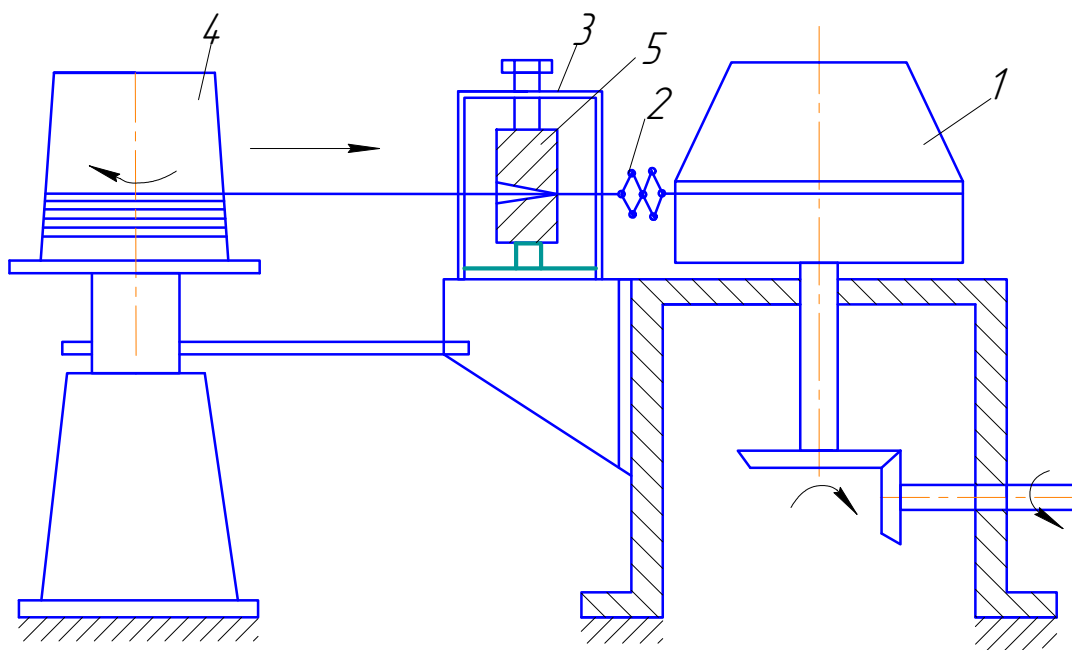


Рисунок 46 – Схема барабанного волочильного стана

Вращение барабана 1 осуществляется от электромотора через редуктор и пару конических шестерен. К барабану 1 на коротком тросе прикреплены клещи 2 для захвата протягиваемой проволоки. В оправку 3 устанавливается проволока 5. Заготовка в виде бунта проволоки надевается на барабан 4, свободно вращающийся.

После намотки 5 - 6 витков на барабан 1 стан останавливают, конец проволоки освобождают от клещей 2 и прикрепляют непосредственно к барабану и процесс ведется непрерывно до конца всего бунта.

Скорость волочения на однократных станах чаще всего составляет 1-2 м/сек и обычно не превышает 5 м/сек.

Диаметр барабана для проволоки 450-1000 мм. При волочении труб диаметр барабана может достигать 1500-2000 мм.

Принцип работы станов многократного волочения заключается в последовательной деформации в нескольких волоках (рисунок 47).

По выходе из волоки протягиваемый металл наматывается на барабан 3 и в то же время другой конец прутка сматывается с него, поступая через волоку на барабан 4 и т.д. Обязательным условием работы станов многократного волочения является соблюдение постоянства секундного объема, т.е. $\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = \dots = \omega_n v_n$, где $\omega_1, \omega_2, \omega_n$ – диаметры проволоки в м^2 , v_1, v_2, v_n – скорость волочения в м/сек.

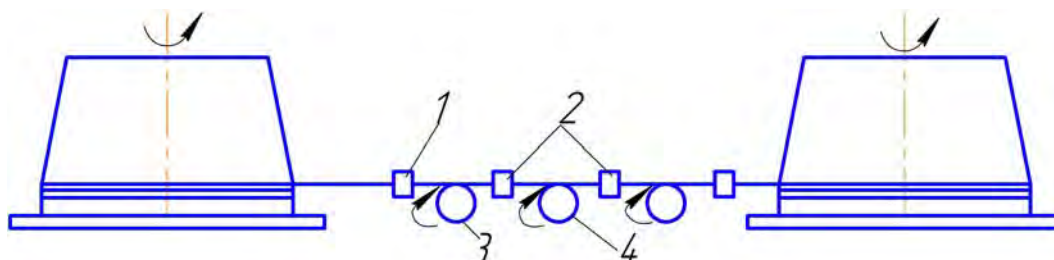


Рисунок 47 - Схема стана многократного волочения

Станы многократного волочения применяются для протягивания проволоки диаметром от 1,0 до 0,002 мм. Число волок достигает 20-30 штук. Скорость волочения на таких станах изменяется 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. Волочение труб выполняется (рисунок 48) на короткой неподвижной оправке (а), на длинной подвижной оправке (б), на плавающей оправке (в), без оправки (г).

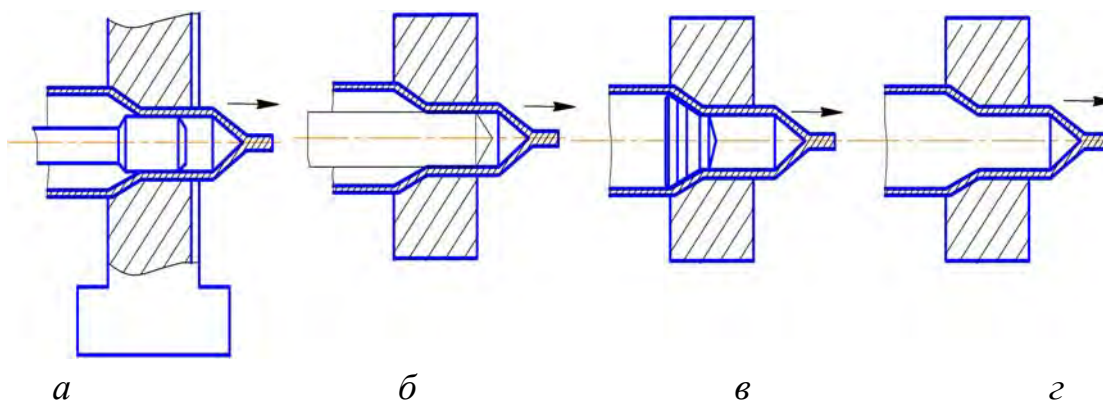


Рисунок 48 – Схемы волочения труб

6.4 Технологические операции при волочении

Заготовку перед волочением очищают от окалины. Для удаления окалины обычно применяют химическое травление в растворах кислот. После травления металл промывают, удаляя с его поверхности остатки кислоты и шлам.

После удаления окалины наносят подсмазочный слой, который должен хорошо удерживать смазку при волочении и предохранять рабочую поверхность волокна от налипания металла.

Подсмазочный слой появляется при операциях желтении, омеднения, фосфатирования, известкования.

Желтение достигается легким ржавлением заготовки, поверхность ее покрывается тонким слоем гидрата оксида железа $Fe(OH)_3$, имеющего желтый цвет.

При омеднении заготовку погружают в слабо подкисленный раствор (1,5% H_2SO_4) медного купороса (3-4%) $CuSO_4$.

Фосфатирование – процесс образования на проволоке мелкой кристаллической пленки фосфатов марганца и железа или цинка. Это позволяет проводить волочение при больших обжатиях, при этом снижается коэффициент трения, причем при фосфатировании примерно в два раза больше, чем при омеднении.

Известкование проводится кратковременным погружением заготовки в ванну с кипящим известковым раствором. Известкованием проволоки решаются две задачи: с одной стороны, нейтрализация остатков кислоты, с другой – осевшие частицы известка на ее поверхности играют роль наполнителя при сухой смазке мыльным порошком.

Затем заготовки сушатся в специальных камерах при циркуляции воздуха, с температурой 300-350°C. Во время сушки удаляется вода и часть растворенного в металле водорода, что способствует устранению травильной хрупкости металла.

На сухую поверхность перед протяжкой наносят смазку. Смазка уменьшает усилие волочения, способствует получению гладкой поверхности протягиваемого металла и повышает стойкость инструмента (волоки). В качестве смазки при волочении применяют минеральное и растительное масла, животные жиры, графит, мыло и некоторые эмульсии.

Смазки, понижая коэффициент трения, должны плотно прилипать к поверхностям, хорошо сопротивляться выдавливанию и не взаимодействовать с обрабатываемым материалом.

Процесс волочения регламентируется технологическими картами, в которых расписан весь технологический процесс:

1 Маршрут волочения, т.е. последовательность изменения размеров сечения заготовки (обжатие или коэффициент вытяжки) по переходам.

2 Температура и продолжительность промежуточного отжига для снятия наклепа.

3 Режим травления для удаления окалины, полученной при отжиге.

4 Отделка готовой продукции (правка, шлифовка, полировка, нанесение защитных покрытий – оцинкование, лужение, хромирование и т.д., резка на мерные длины, смазка и упаковка).

7 ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛА

Прессованием называют процесс выдавливания находящегося в контейнере металла через выходное отверстие (очко) матрицы.

Прессование применяется при пластической обработке металлов как в горячем, так и в холодном состоянии, причем даже металлов, обладающих значительной природной жесткостью.

Прессованием изготавливают прутки диаметром 3-250 мм, трубы диаметром 20-400 мм при толщине стенки 1,5 – 12 мм, разнообразные фасонные профили.

К основным преимуществам процесса прессования следует отнести:

- возможность успешной пластической обработки с высокими вытяжками, в том числе малопластичных металлов и сплавов;
- возможность получения практически любого поперечного сечения изделия, что при обработке металла другими способами не всегда удается;
- получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы;
- производство изделий с высоким качеством поверхности и высокой точностью размеров поперечного сечения, больше, к примеру, чем при прокатке.

К недостаткам получения изделий прессованием следует отнести:

- повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка;
- появление в некоторых случаях неравномерности механических и др. свойств по длине и поперечному сечению изделия;
- сравнительно высокую стоимость прессового инструмента.

Следует отметить, что прессование протекает в условиях схемы всестороннего неравномерного сжатия, в результате деформируемый металл приобретает высокую пластичность (рисунок 49).

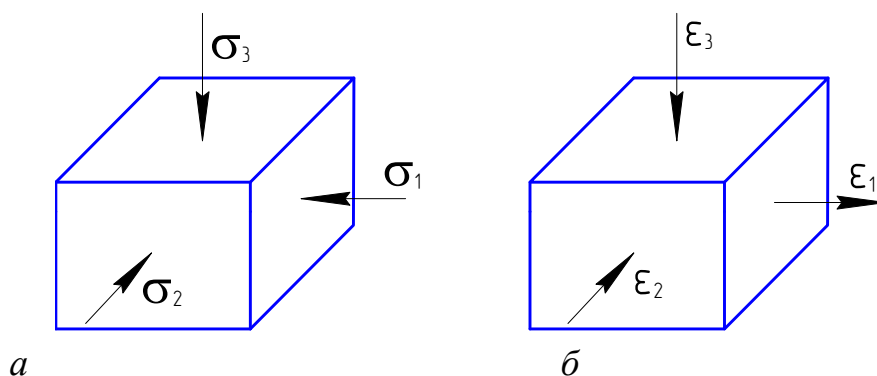


Рисунок 49 – Схемы напряжения и деформации при прессовании

$\sigma_2 = \sigma_3$, $\sigma_1 < \sigma_2$. Это обстоятельство и позволяет обрабатывать многие специальные стали, титановые сплавы и другие малопластичные металлы.

Существуют два метода получения изделий прессованием металла: прямой и обратный (рисунок 50).

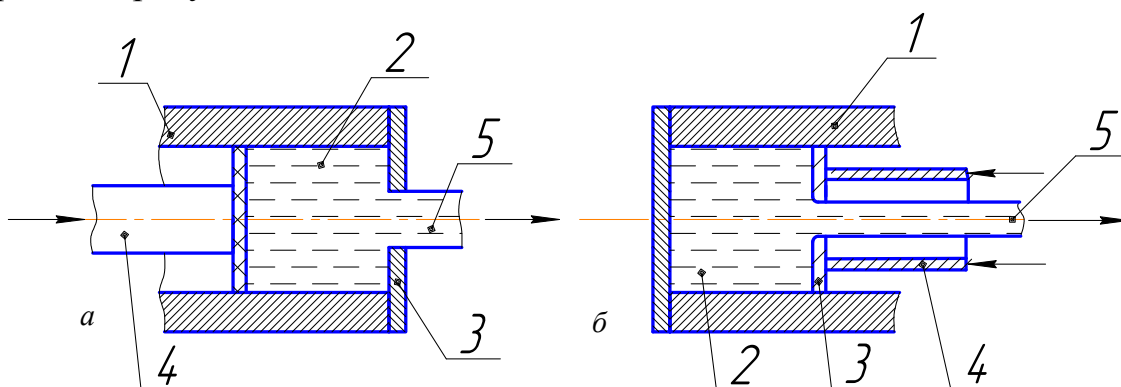


Рисунок 50 – Схемы прямого прессования (а), обратного (б)

Заготовка 2 (в холодном или горячем состоянии), помещенная в контейнер 1, выдавливается пуансоном 4 через отверстие матрицы 3, образуя изделие 5.

Прямой метод заключается в том, что течение металла через отверстие матрицы и движение пуансона происходит в одном направлении.

При обратном методе – течение металла и движение пуансона с матрицей происходят в обратных направлениях. При обратном методе заготовка остается неподвижной и в этом случае, вследствие уменьшения трения, усилие прессования меньше.

Основными величинами, характеризующими деформацию при прессовании, являются коэффициент вытяжки и степень обжатия (степень деформации).

Коэффициент вытяжки равен отношению площади сечения контейнера к площади сечения матрицы, т.е. $\mu = F_k / F_m$. Обычно коэффициент вытяжки находится в пределах 8 – 50, а иногда может иметь и большие значения.

Степень обжатия при прессовании измеряется отношением разности площадей поперечного сечения контейнера и отверстия матрицы к площади поперечного сечения контейнера, т.е. $U = \frac{F_k - F_m}{F_k} 100\%$.

Прессование по сравнению с другими способами ОМД производят с наибольшей степенью обжатия.

Как правило, степень обжатия (деформации) при прессовании составляет 90%, а в некоторых случаях – 98%.

7.1 Оборудование и инструмент для прессования

Прессование металла обычно осуществляют на гидравлических прессах с горизонтальным или вертикальным перемещением плунжера. Давление плунжера передается на пуансон с пресс-шайбой. Механические прессы применяют значительно реже. Наибольшее распространение получили горизонтальные прессы с усилием прессования в 1000, 1500, 2500, 3500 и 5000 т. Современные прессы работают с программным управлением с полной механизацией и автоматизацией процесса.

Успешное применение прессования используют для получения необходимого профиля и размеров изделия.

Прессовый инструмент (контейнер, матрицы, пресс-шайба и др.) работает в тяжелых условиях (высокие температуры, большие напряжения). Отдельные элементы инструмента нагреваются до температур прессуемого металла. Для медных сплавов температурный интервал прессования достигает 500-900°C, а для стали, никелевых и титановых сплавов – 1000 -1250°C. В процессе прессования напряжения, например, в пресс-шайбе и контейнере могут превышать 150 кгс/мм². Кроме того, инструмент после прессования подвергается быстрому охлаждению.

В связи с этим прессовый инструмент изготавливают из высококачественной легированной стали 5ХНВ, 3Х2В8, ЭИ617 и др. Отдельные элементы инструмента изготавливают из жаростойких материалов: победит (ВК8), микролит (ЦМ332), термоборунд (ТВ14) и другие.

При прессовании для уменьшения трения металла о стенки контейнера и достижения более равномерного истечения металла из матрицы применяют смазку – смесь машинного масла с графитом, жидкое стекло (для легированных сталей) и другие. Смазка подбирается соответственно прессуемым металлам и сплавам.

Матрица работает исключительно в тяжелых условиях – высокая температура, высокие удельные давления при минимальных возможностях смазки и охлаждения. По количеству отверстий матрицы могут быть одноочковыми и многоочковыми.

Количество отверстий определяется видом получаемого изделия и необходимой производительностью пресса. Так, при прессовании круглых профилей небольших размеров матрица может иметь до 30 и более отверстий.

7.2 Технология прессования

Процесс прессования металла включает следующие стадии:

- подготовка слитка или заготовки к прессованию (удаление наружных дефектов, резка заготовки на мерные длины и т.д.);
- нагрев слитка или заготовки до заданной температуры в пламенной или электрической печи;
- подача нагретого металла в контейнер;
- выдавливание металла из контейнера через очко матрицы;
- отделка полученного изделия (резка на мерные длины изделия, правка на правильных машинах, отбраковка и удаление дефектов).

При прессовании выход годной продукции обычно составляет 70-80%.

При выдавливании металла из контейнера различают скорость прессования (скорость движения пуансона пресса) и скорость истечения (течения металла) – величину, определяющую скоростные условия на выходе из очка матрицы. Скорость прессования $v_{пр}$ и скорость истечения $v_{ист}$ связаны между собой зависимостью $v_{ист} = \mu \cdot v_{пр}$ (где μ – коэффициент вытяжки), что указывает на связь степени деформации со скоростными условиями процесса. Изменяя скорость прессования, получают различные виды течения металла (различные виды очага деформации). Следовательно, скорость прессования может определенным образом влиять на качество продукции обработки.

Пластичные металлы прессуют с повышенными скоростями. Скорость истечения при прессовании медных труб при вытяжке $\mu < 40$ составляет 120 см/сек, а при $\mu > 100$ - 500 см/сек. При прессовании прутков алюминия при $\mu > 100$ скорость истечения достигает 2500 см/сек. При прессовании стальных прутков $v_{ист}$ доходит до 600 - 800 см/сек, при этом скорость перемещения пресс-штемпеля составляет 40 см/сек.

В то же время малопластичные материалы, например, сплавы магния МА5, МА3 прессуют со скоростью истечения только 1,5 – 5 см/сек.

7.3 Гидростатическое прессование

Как отмечалось, прессование характеризуется неравномерностью течения металла, что приводит к неоднородности механических свойств по сечению готового изделия.

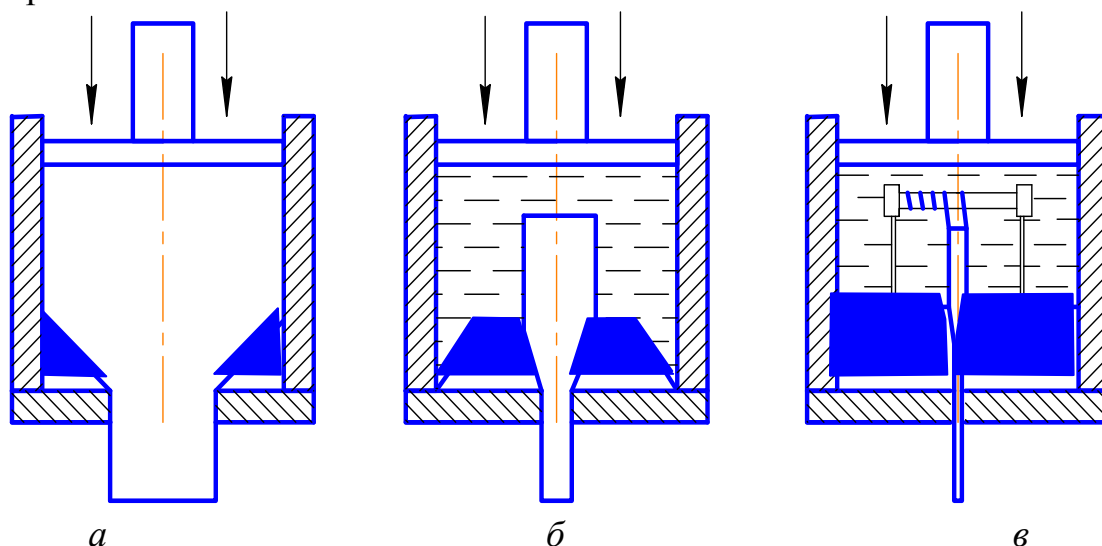
Интересна статья академика А.А.Целикова в журнале «Наука и жизнь» «Высокие параметры» (1973 - №3 – с.22).

Суть в том, что с помощью высокого всестороннего давления (до 20 тыс. атм.) неметаллические сплавы из хрупкого состояния переводятся в пластичное и в этом состоянии деформируются. Используемый метод гидропрессования позволяет обрабатывать хрупкие, труднодеформируемые материалы на основе Mo, W, Cr, бериллия, никелевые сплавы, быстрорежущие стали и т.д.

При гидропрессовании заготовка не касается стенок контейнера (рисунок 51). Даже от матрицы она отделена слоем жидкости (это может быть минеральное масло, глицерин, этиленгликоль, кремнеорганическая жидкость и даже вода). Поэтому в металле не возникает растягивающих напряжений.

Гидропрессованием, к примеру, можно получить из вольфрама трубки с толщиной стенки десятые доли мм, а из никеля – трубки диаметром в один мм с толщиной стенки 0,05 мм. Методами традиционного прессования ничего подобного сделать невозможно.

Важно и то, что после гидропрессования свойства металла в ряде случаев значительно выше. Например, прочность молибдена после гидропрессования повышается в 2-3 раза, пластичность – в 5 - 6 раз, а удельная вязкость – даже в 10 -20 раз.



- а – обычное прессование;
б – гидростатическое прессование заготовки большого диаметра;
в – гидравлическое прессование заготовки малого диаметра

Рисунок 51 – Схемы прессования

8 СВОБОДНАЯ КОВКА

Свободной ковкой называется способ горячей обработки металлов давлением, который осуществляется 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. Данным способом изготавливают поковки до 200 т и типа валов гидротурбин, цельнокованных паровых котлов и др.

Различают ручную и машинную свободную ковку. Ручная ковка осуществляется на наковальне с помощью кувалды и различного кузнечного инструмента. Ручную свободную ковку применяют для штучного изготовления мелких поволок, главным образом, в ремонтных мастерских.

Машинная свободная ковка осуществляется на кузнечно-прессовых машинах. Мелкие и средние поковки (до 750 кг) обрабатываются на молотах, а крупные (массой до 200 т) – на прессах.

Величина деформации при свободной ковке может быть выдержана либо относительным изменением площади поперечного сечения

$$U = \frac{F_0 - F_1}{F_1} 100\% , \quad (10)$$

$$\text{либо коэффициентом уковки } y = \frac{F_0}{F_1} ,$$

где F_1 – меньшая площадь поперечного сечения;

F_0 – большая площадь;

y всегда > 1 (и при осадке и при вытяжке).

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.

Рассмотрим операции свободнойковки.

Осадка. При осадке площадь поперечного сечения заготовки увеличивается вследствие уменьшения ее высоты. Во избежание продольного изгиба, отношение высоты осаживаемой заготовки к ее диаметру или толщине не должно превышать 2,5 раза. Вследствие действия сил трения по контактным поверхностям боковая поверхность заготовки приобретает бочкообразную форму (рисунок 52).

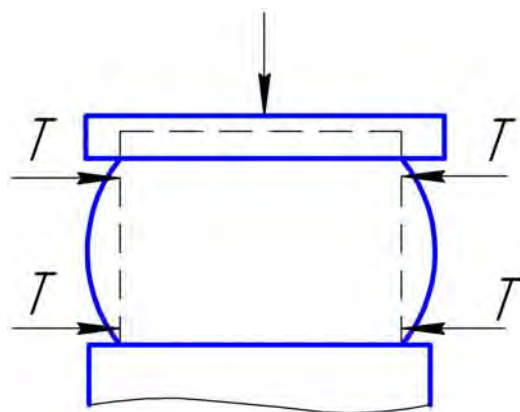


Рисунок 52 - Осадка

Осаживание части заготовки называют высадкой. Высадка может быть осуществлена при нагревании соответствующей части заготовки (конца или середины) или ограничением деформации заготовки на некоторой ее части кольцевым инструментом К (рисунок 53 а, б).

Протяжку применяют, когда необходимо увеличить длину заготовки за счет уменьшения поперечного сечения. Протяжку можно вести с края и середины заготовки. Если при протяжке поворачивают заготовку вокруг оси на 90^0 , то такую операцию называют протяжкой с кантовкой. При протяжке используют плоские и вырезные бойки.

Когда требуется увеличить ширину заготовки, применяют операцию разгонки, представляющую собой некоторую разновидность протяжки. При этом ось заготовки располагают перпендикулярно по отношению к ширине бойка.

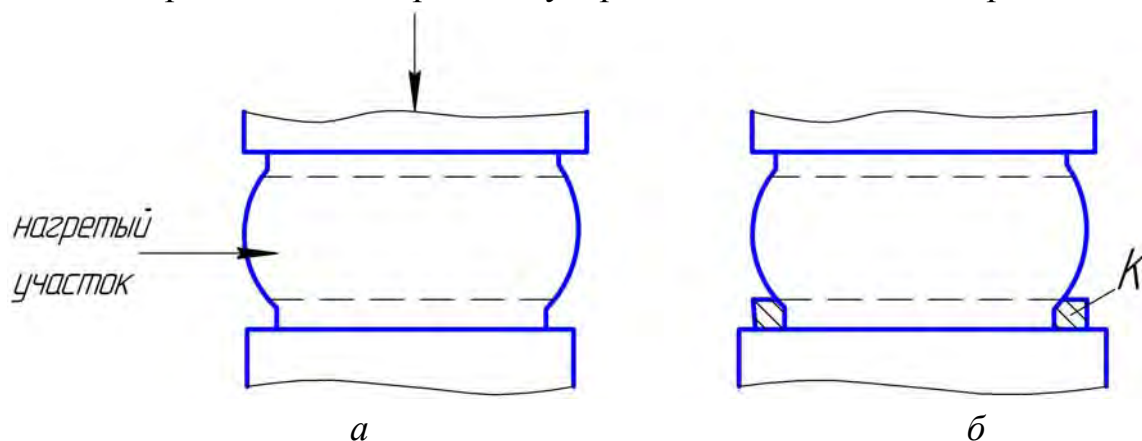
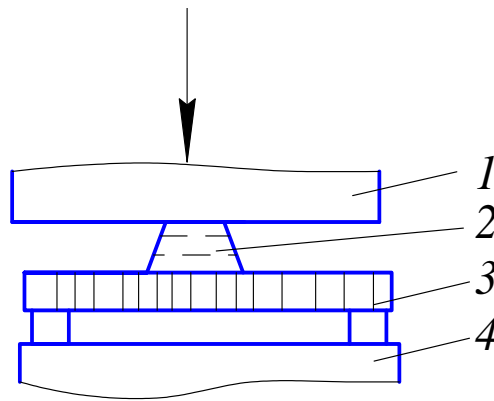


Рисунок 53 – Высадка

Прошивка представляет собой операцию получения сквозного отверстия или углубления в заготовке. Прошивку выполняют прошивнем (рисунок 54).



1 – верхний боек; 2 – прошивень; 3 – заготовка; 4 – нижний боек

Рисунок 54 – Прошивка

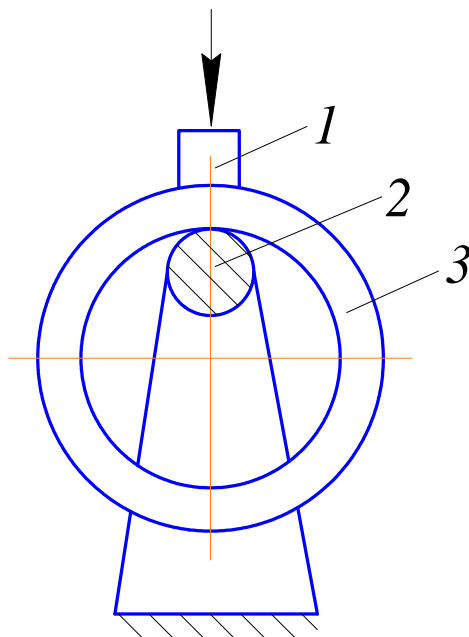
Прошита заготовка в дальнейшем может подвергнуться обработке, состоящей в уменьшении толщины стенки кольца и увеличении диаметра. Такая операция называется раскаткой и выполняется на оправке.

Гибку применяют, если заготовке придают изогнутую форму по заданному контуру, например, крюк подъемный.

Гибку чаще всего выполняют с помощью подкладных штампов и различных приспособлений.

Закручивание используется, если необходим поворот на некоторый угол одной части заготовки по отношению к другой. Такая операция используется при производстве некоторых типов коленчатых валов, спиральных сверл и др.

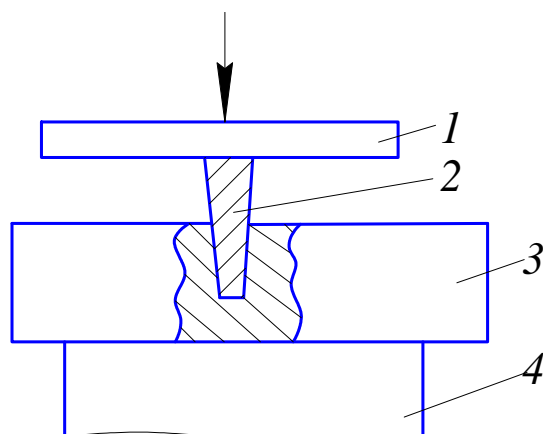
Широко применяются операции свободнойковки раскатка и рубка (рисунки 55 – 56).



1 – верхний боек; 2 – оправка; 3 – кольцо

Рисунок 55 – Раскатка

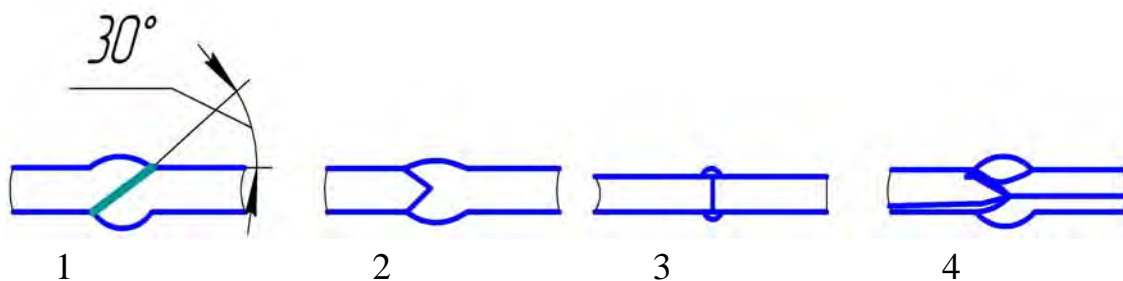
Рубка используется как операция разделения заготовки на части. Рубку выполняют топорами различной формы, а также в специальных штампах.



1 – верхние боек; 2 – топор; 3 – заготовка; 4 – нижний боек

Рисунок 56 – Рубка

Кузнечную сварку выполняют при высокой температуре. Она представляет собой операцию соединения нескольких поковок в одну или соединение концов или участков одной поковки (рисунок 57). С развитием электро- и газосварки кузнечная сварка утрачивает свое значение, т.к. надежный шов получается при сваривании лишь малоуглеродистой стали с содержанием углерода менее 0,25%.



1 – внахлест; 2 – вразруб; 3 – встык; 4 – в расщеп

Рисунок 57 – Схемы кузнечной сварки

В производственных условиях рассмотренные операции, в зависимости от вида и размера поковки, могут применяться в том или ином сочетании.

При разработке технологических операций изготовления поковок прежде всего составляют чертеж самой поковки с припусками на обработку резанием, напусками (добавлением металла для упрощения ее изготовления) и допусками, т.е. величиной узаконенных отклонений размеров готовой поковки.

Величины припусков и допусков определяются размерами и формой изделия и для углеродистых и легированных сталей регламентируются ГОСТами. По чертежу поковки определяют объем и, следовательно, ее массу, все виды отходов металла в процессе обработки; определяют массу поковки и всех видов

отходов металла, находят размеры заготовки или слитка. Все расчеты заносят в технологическую карту, которая представляет собой основной производственный документ кузнечного цеха.

8.1 Ковочные молоты и прессы

Для свободнойковки применяют машины динамического действия (молоты) и машины статического действия (гидравлические прессы). Продолжительность деформации у машин 1-й группы исчисляется тысячными долями секунды, а у машин 2-й группы – секундами и даже десятками секунд.

Основными видами молотов, применяющихся в настоящее время для свободнойковки, являются:

- приводные – пневматические;
- паровоздушные.

Пневматический молот (рисунок 58) имеет два цилиндра: компрессорный 1 и рабочий 2. Поршень компрессорного цилиндра 3 нагнетает воздух, приводящий в движение рабочий поршень. Возвратно-поступательное движение поршня 3 осуществляется кривошипно-шатунным механизмом 5 от электродвигателя. Между цилиндрами имеется воздухораспределительное устройство, состоящее из кранов 6 и 7 с каналами, через которые сжимаемый воздух направляется в рабочий цилиндр попеременно снизу и сверху.

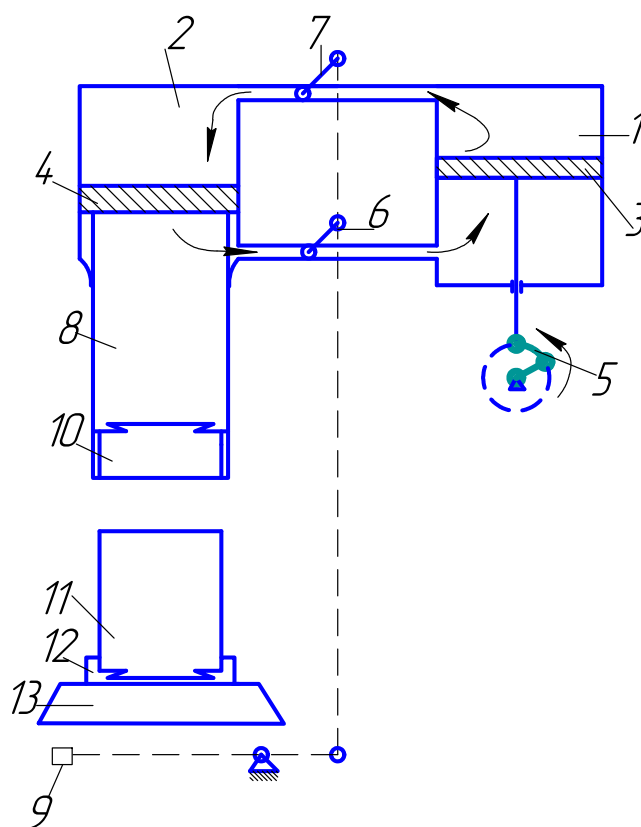


Рисунок 58 – Схема пневматического молота

Сжатый воздух перемещает бабу молота 8 соответственно вверх и вниз. Переключение кранов осуществляется путем нажатия ножной педали 9 или рукояткой. Крепление верхнего бойка 10 к бабе 8 и нижнего 11 к подушке 12 производится специальными клиньями. Стальная подушка 12 установлена на массивном основании молота – шаботе 13, который не связан со станиной молота.

Полезно используемая энергия удара зависит от массы шабота по сравнению с величиной массы падающих частей $E = \frac{mV^2}{2}$, где m – масса падающих частей, кг; V – минимальная скорость падающих частей в момент удара, м/сек.

Чтобы обеспечить высокий к.п.д. удара (0,8-0,9), масса шабота должна быть в 15-20 раз больше массы падающих частей. Число ударов бабы молота равно 70-210 в минуту. Вес падающих частей от 50 кг до 1 т.

Паровоздушные молоты приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 7-9 атм. Управление паровоздушными молотами осуществляется при помощи парораспределительного устройства, регулирующего впуск и выпуск пара в рабочий цилиндр, т.е. отличаются от пневматических молотов тем, что вместо компрессорного цилиндра у них имеются установки высокого давления пара или воздуха, а вместо кранов имеется золотниковое распределительное устройство. На паровоздушных молотах обрабатывают слитки и заготовки массой до 2-3 т, но чаще всего до 1,5 т. Масса падающих частей таких молотов принимается от 0,5 до 5 т.

Ковку слитков более 2-3 т производят на гидравлических прессах (рисунок 59) с усилением прессования от 500 т до 15000 т и выше.

Пресс состоит из массивной плиты 1. Нижняя плита 4-мя стальными колоннами 2 связана с верхней плитой 3, на которой укреплены рабочий цилиндр 4 и подъемные (ретурные) цилиндры 5. В рабочем и подъемных цилиндрах перемещаются плунжеры – рабочий 6 и подъемный 7, которые связаны с подвижными траверсами 8 и 9 с помощью тяг 10. На столе пресса 11 и в подвижной траверсе 9 укреплены бойки 12 и 13.

Работа пресса осуществляется посредством попеременного выпуска воды или масла высокого давления (200-300 атм) в рабочий 4 и подъемные цилиндры 5.

По роду привода гидравлические прессы подразделяются на прессы, работающие непосредственно от насоса, от насосно-аккумуляторного привода и прессы с мультипликаторным приводом (мультипликатор для поддержания высокого давления жидкости и подачи ее в рабочие цилиндры). Усилие пресса при работе может быть вычислено следующим образом: $P = pF\eta$, где P – усилие пресса, кг; p – давление жидкости высокого давления, кг/см²; F – площадь поперечного сечения плунжера в см²; η – КПД, учитывающий потери на трение, равный 0,8-0,9.

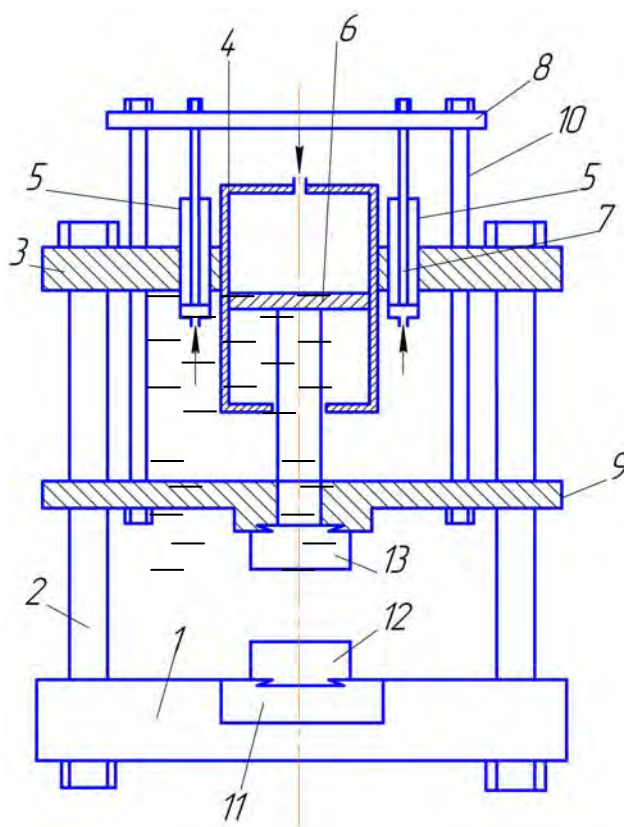


Рисунок 59 – Схема гидравлического прессы

Свободная ковка является трудоемким и малопроизводительным процессом, поэтому механизация ее операций является исключительно важной задачей.

Наиболее распространенным механизмом является мостовой кран, с помощью его производится транспортировка слитков, поддержка во время ковки, подача и смена различного инструмента (бойка, оправки, патрона). Для ковки поковок применяются различного рода лебедки, посадочные машины, кантователи, манипуляторы и т.д. К числу средств механизации процесса ковки относится оборудование гидравлических прессы с передвижными столами.

9 ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

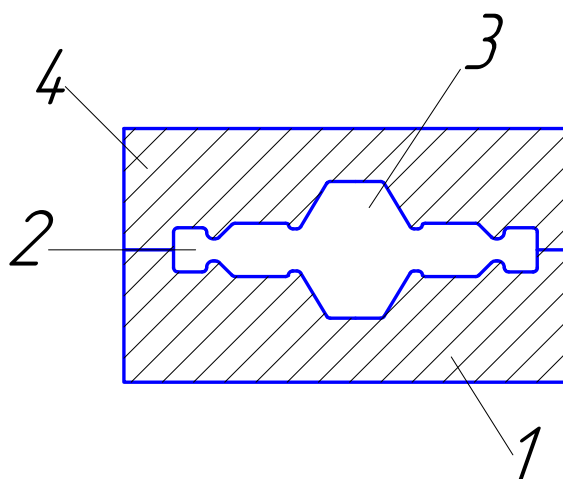
Различают объемную и листовую (плоскостную) штамповку металла в нагретом и холодном состоянии.

При объемной штамповке металл деформируется по всему объему и истечение его ограничивается полостью штампа. Полости штампа называется ручьями. Заготовка, помещенная в ручей, при смыкании штампа, деформируясь, заполняет полости, принимая форму поковки.

Объемная горячая штамповка имеет ряд преимуществ по сравнению со свободной ковкой: достигается более высокая производительность труда, уменьшаются отходы металла, обеспечивается более высокая точность изделия при лучшем состоянии его поверхности. Исключается необходимость обработки резанием всей поковки, а обрабатывается лишь та ее часть, которая будет соприкасаться с другими деталями. Методом объемной штамповки можно получать поковки из стали и цветных металлов различной конфигурации с высокими механическими свойствами.

Более 20% от веса всех машин изготавливается горячей штамповкой. Штамповкой можно изготовить поковки весом до 400-500 кг, а в отдельных случаях до 2 т, а при штамповке на гидравлических прессах и до 5 т. Так как штамповочный инструмент – штамп имеет значительную стоимость и является пригодным для поковки только данной конфигурации, штамповка становится рентабельной только в условиях массового и крупносерийного производства.

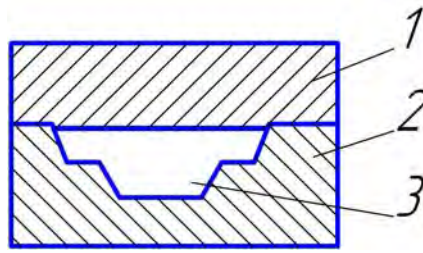
Основными методами горячей штамповки являются штамповка с облоем в открытых штампах и штамповка без облоя в закрытых штампах.



1 – нижний штамп; 2 – облой; 3 – изделие; 4 – верхний штамп

Рисунок 60 – Штамповка в открытых штампах

Сущность облойного метода заключается в том, что поковка по месту разъема штампа вследствие избытка металла получается с заусенцами (облоем). Наличие облоя обеспечивает хорошее заполнение полостей штампа, т.к. заусенец образуется раньше заполнения ручьев и при смыкании штампа создается подпор по контуру изделия. По окончании пластической обработки облой удаляется на отрезных штампах. Этот способ штамповки получил широкое распространение, несмотря на потери металла, т.к. в данном случае обеспечивается надежное заполнение полостей штампа. Штамповка в открытых штампах обычно производится на молотах, различных прессах и ковочных вальцах (рисунок 60).



1 – верхний штамп; 2 – нижний штамп; 3 – изделие

Рисунок 61 – Штамповка в закрытых штампах

Безоблойная штамповка представляет собой деформацию металла в закрытых штампах, в которых образование облоя не предусматривается, и поэтому полость для него отсутствует (рисунок 61).

Пониженный расход металла при штамповке данным способом представляет существенное преимущество, однако формы поковок при этом менее разнообразны (более простые), чем при изготовлении в открытых штампах с обломом. При безоблойной штамповке необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, т.к. поковки могут быть чрезмерно полными при избытке металла, либо с незаполненными углами при его недостатке. Для резки заготовок при этом применяются способы, обеспечивающие достаточно высокую точность, на ленточных, дисковых пилах или электроискровой способ резки. Штамповка в закрытых штампах чаще производится на прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Открытые и закрытые штампы могут быть одно- или многоручьевые. Одноручьевой штамп применяют для получения поковок простой формы. Поковки сложной формы изготавливают методом многоручьевой штамповки. Сначала заготовка обрабатывается в подготовительных ручьях, а затем в чистовом ручье. Подготовительные и чистовые ручьи размещают в одном общем или в нескольких отдельных штампах (комбинированный процесс штамповки). Как уже указывалось, процесс штамповки выполняется на различного вида установках. Однако наибольшее распространение получила штамповка на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.

9.1 Штамповка на молотах

Значительное распространение получили штамповочные паровоздушные молоты с падающими частями массой 0,5-30 т, реже применяют фрикционные молоты с падающими частями массой 0,5-2 т.

Паровоздушные молоты относятся к молотам двойного действия, потому что процесс деформации производится как за счет работы падающих частей,

так и за счет работы сжатого пара или воздуха. Принцип их действия аналогичен принципу действия ковочных молотов.

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. Как видно из рисунка 62, нижний конец доски 3 соединен с бабой 1, а верхний проходит между двумя принудительно вращающимися чугунными роликами 2, которые, сближаясь, зажимают с некоторым усилием доску. Возникающая при этом сила трения обеспечивает подъем доски с бабой. При разведении роликов доска вместе с бабой падает вниз и производит удар по заготовке. На таких молотах затруднена возможность регулирования энергии удара, которая особенно важна, когда нужно уменьшить силу удара. Кроме того, быстро из строя выходит доска, ее заменяют шарнирной цепью.

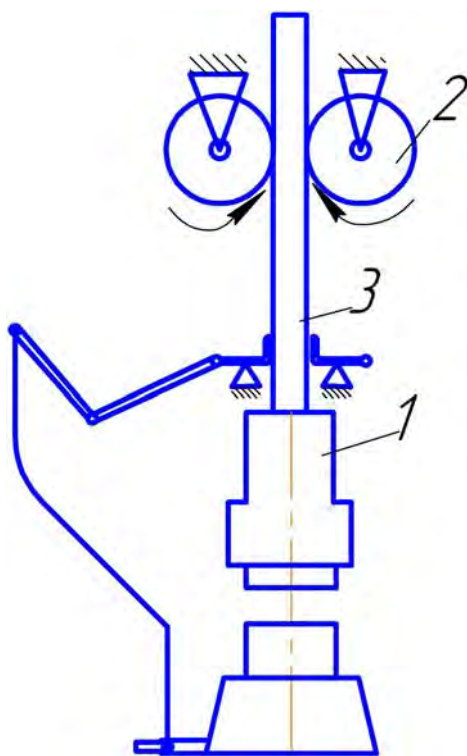


Рисунок 62 – Схема фрикционного молота

Штамповочные молоты конструктивно отличаются от молотов для свободнойковки по следующим основным признакам:

- стойки у штамповочных молотов обязательно устанавливаются на шаботе и соединяются с ним при помощи болтов с пружинами;
- движение бабы у штамповочных молотов происходит в регулируемых направляющих;
- все штамповочные молоты имеют управление от ножной педали.

Помимо рассмотренных типов молотов существуют бесшаботные молоты, деформация металла на которых производится путем встречного движения верхнего и нижнего штампов.

Бесшаботные молоты в 2-2,5 раза легче шаботных с той же энергией удара. Кроме того, заметно уменьшаются сотрясения фундамента и грунта при работе.

При штамповке на молотах используют, как правило, открытые штампы. В зависимости от сложности получаемого изделия штамповка может быть одноручьевой и многоручьевой. В последнем случае каждый ручей имеет определенное назначение, их подразделяют на заготовительные и штамповочные. Используются следующие заготовительные ручки штампов:

- 1 протяжной – для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет изменения ее поперечных размеров;
- 2 пережимной – для получения местного уширения на заготовке без распределения металла вдоль оси;
- 3 гибочный ручей применяют, когда требуется выполнить изгиб заготовки;
- 4, 5 – штамповочные ручки черновой и чистовой для получения необходимой формы и размеров изделия.

Необходимость чернового ручья вызывается тем, что обработка в нем заготовки увеличивает стойкость чистового ручья. Чаще всего черновой ручей отличается от чистового отсутствием канавки для облоя и, как правило, несколько большими штамповочными уклонами.

В качестве примера многоручьевой штамповки рассмотрим изготовление шатуна по переходам (рисунок 63).

Нагретая заготовка попадает сначала в протяжной ручей 1, в котором происходит ее вытяжка. В подкатном ручье 2 происходит перераспределение металла, поперечное сечение одних частей увеличивается за счет других. Затем заготовка поступает в гибочный 3 и черновой 4. В чистовом ручье 5 заготовка получает окончательную форму.

При обработке в черновом ручье выполняется значительное формоизменение заготовки. Поэтому в нем производится в 1,5-2 раза больше ударов молота по сравнению с обработкой в чистовом.

При штамповке на молотах используются не только открытые, но и закрытые штампы. Заготовительные ручки открытых и закрытых штампов не имеют различий. Различие наблюдается в чистовых ручьях и в массе штамповочной заготовки. При обработке в открытом штампе масса облоя обычно составляет 15-20% от массы штамповочного изделия, а при производстве мелких и сложных по форме изделий масса облоя иногда равна массе самого изделия. При безоблойной штамповке требуемая мощность кузнечных машин может быть на 30-40% меньше, чем при облойной штамповке, однако стойкость штампов час-

то оказывается низкой. Безоблойную штамповку применяют только для простых поковок.

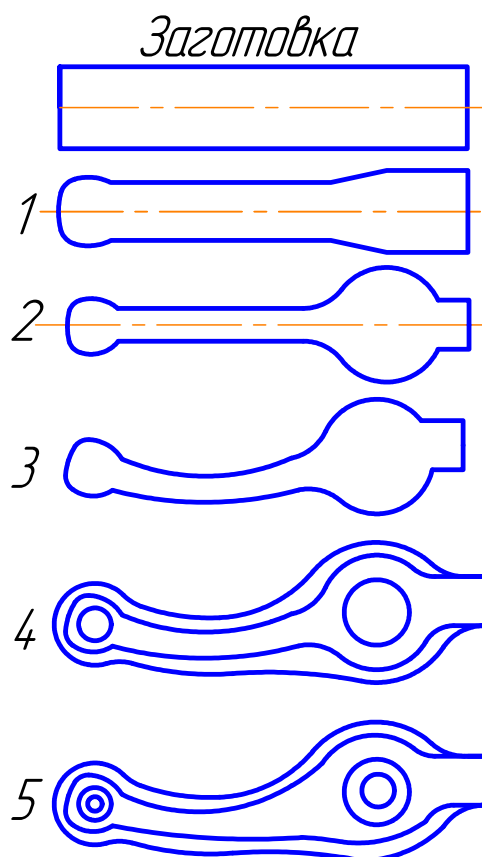


Рисунок 63 – Схема изготовления шатуна

9.2 Штамповка на прессах

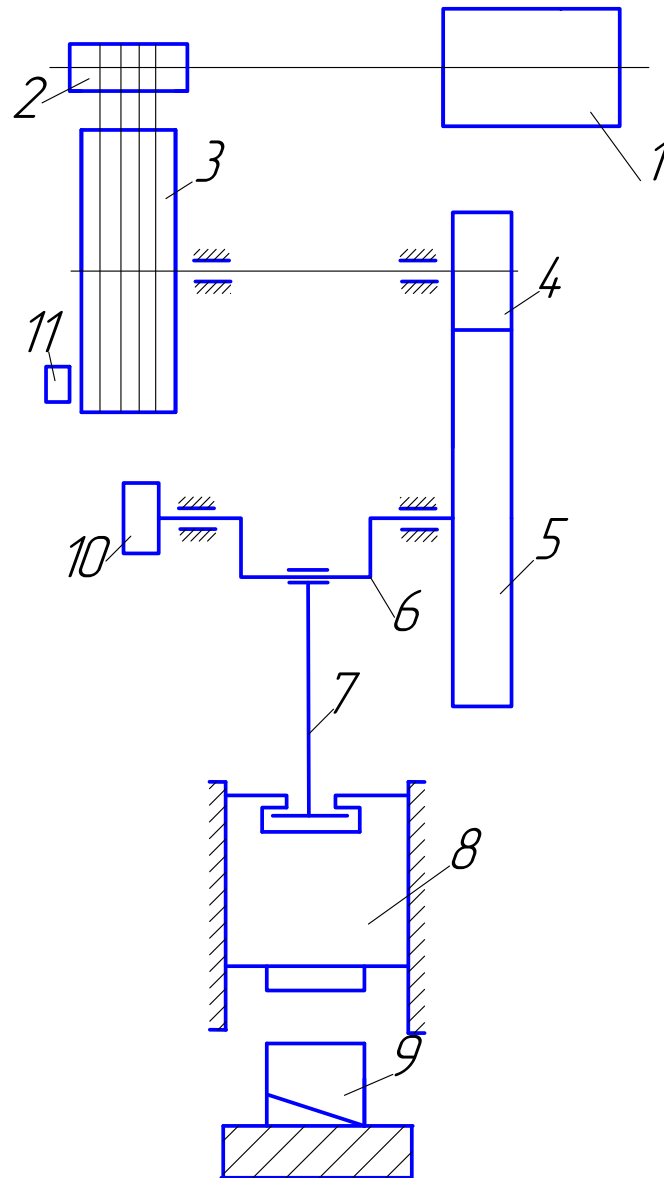
Для горячей штамповки помимо молотов широко применяют кривошипные и гидравлические прессы. Кривошипные прессы имеют усилие обработки от 690 до 10000 т, а гидравлические до 75000 т и более.

Применение этих прессов дает преимущества по сравнению с молотами:

- отсутствие сотрясений почвы, меньшие фундаменты на 30-50%;
- более высокую производительность (изделие выполняется за один ход ползуна);
- большую точность поковок (до 0,2-0,5 мм), меньшие штамповочные уклоны 2-3% по сравнению с молотовыми штампами 3-15%;
- легче автоматизировать и механизировать.

Рассмотрим кинематическую схему кривошипного прессы (рисунок 64). Электромотор 1 при помощи клиноременной передачи 2 приводит в движение маховик 3. Затем в движение приводится кривошипношатунный механизм (4,5,6,7), который приводит ползун 8 в возвратно-поступательное движение.

По сравнению с молотами в прессе нагрузка на поковку возрастает постепенно, и деформация распространяется на весь объем металла. Это нужно учитывать, чтобы предотвратить преждевременное вытекание металла в облой, в горизонтальном направлении течение металла легче, чем в вертикальном. Скорость деформируемого инструмента у молота 5-8 м/сек, у прессы 0,5-0,6 м/сек.



1 – электродвигатель, 2 – клиноременная передача, 3 – маховик, 4 и 5 – шестерни кривошипно-шатунного механизма, 6 – коленчатый вал, 7 – шатун, 8 – ползун, 9 – клин стола для регулирования высоты штамповочного пространства, 10 – ленточный тормоз кривошипно-шатунного механизма, 11 – тормоз маховика.

Рисунок 64 – Схема кривошипного прессы

На кривошипных прессах можно штамповать поковки в открытых и закрытых штампах. Кроме того, можно получать поковки методом выдавливания, штамповку прошивкой и различные комбинированные операции (рисунок 65).

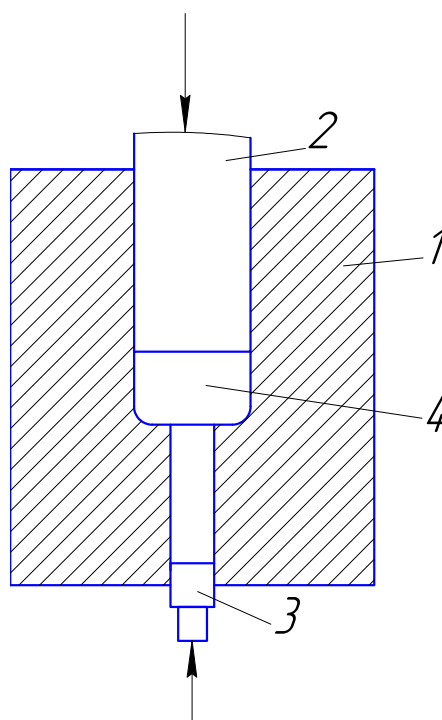


Рисунок 65 – Схема штамповки выдавливанием

В матрицу 1 входит пуансон 2, образуя закрытый ручей 4. Извлечение поковки из ручья 4 обычно производится с помощью выталкивателя 3.

Гидравлические прессы более дорогостоящие, они тихоходные и обеспечивают меньшую производительность. Поэтому их применяют в том случае, когда использование молота по каким-либо причинам исключается:

- при штамповке крупных поковок, если вес падающих частей молота становится недостаточным;
- при штамповке труднообрабатываемых сплавов, требующих низкие скорости деформации;
- при выполнении операций выдавливания, прошивки и др., требующих значительного хода инструмента на гидравлических прессах штампуют различные рычаги, зубчатые колеса, коленчатые валы, днища судов, винты самолетов. Масса поковок от 100 кг до 5 т и более.

Чтобы избежать ухудшения качества поверхности изделий при штамповке, применяют различные способы очистки заготовки от окалины (например, гидравлическая очистка) либо применяют безокислительный нагрев заготовок (чаще всего в индукционных печах).

После окончания горячей штамповки образующиеся заусеницы удаляют на

кривошипных прессах обрезными штампами. Если остается пленка (перемычка) металла в отверстии, то она удаляется прошивкой при помощи пуансона.

Заусенцы обрезают с поковок в горячем и холодном состоянии.

Поковки после удаления заусенцев подвергаются необходимой термической обработке, правят в специальных штампах, очищают от окалины в галтовочных барабанах, пескоструйных или дробеметных аппаратах, в растворах кислот. Большое внимание уделяется термической обработке поковок (замедленное охлаждение, нормализация, отжиг и др.).

Для придания поковкам или отдельным их частям точных размеров и улучшения состояния поверхности применяют калибровку и чеканку.

9.3 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) представляют собой кривошипные прессы с перемещением главного ползуна в горизонтальной плоскости. Усилие главного ползуна от 100 до 3150 т, а зажимного 0,4-0,6 от усилия главного ползуна. Рассмотрим кинематическую схему ГКМ (рисунок 66).

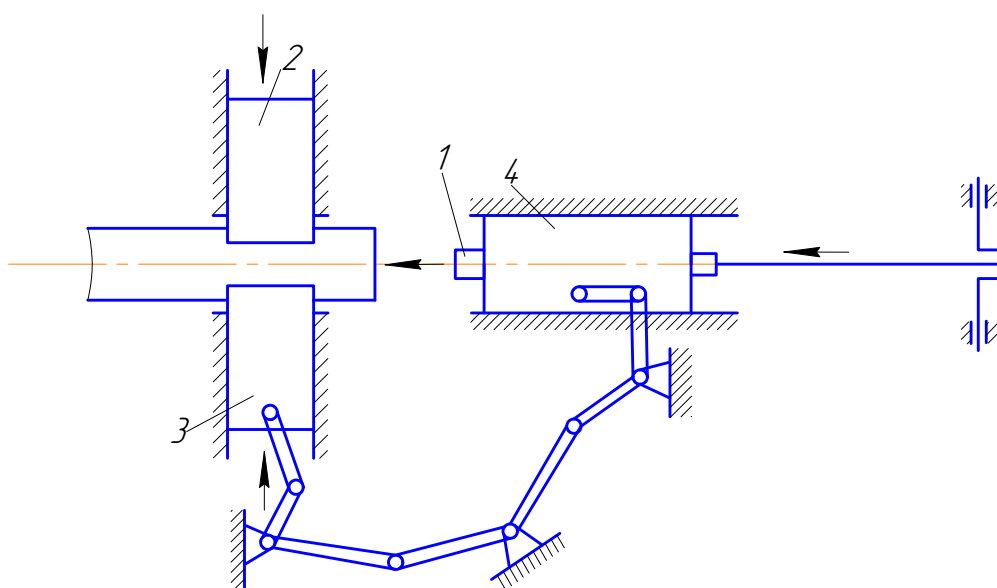


Рисунок 66 – Схема работы горизонтально-ковочной машины

Основной разъем штампов проходит между пуансоном 1, закрепленном на главном ползуне 4 и составной матрицей, которая располагается в неподвижной части 2 и в зажимном пуансоне 3. Наличие взаимноперпендикулярных разрезов в штампе создает определенные удобства для всевозможных высадочных работ.

Штамповка на ГКМ имеет целый ряд преимуществ:

- возможность штамповки в закрытых штампах (без облоя);

- возможность штамповки без штамповочных уклонов, что сокращает припуски и допуски наполовину;
- возможность обеспечения в поковке наиболее благоприятного направления волокон макроструктуры, придающего ей наибольшую прочность;
- высокая производительность, достигающая 400-900 шт поковок в час;
- возможность полной автоматизации технологического процесса штамповки.

Штамповка на ГКМ применяется в условиях крупносерийного и массового производства и особенно в автотракторной и авиационной промышленности.

На ГКМ штампуют поковки болтов, гаек, колец, втулок, шестерен и т.п. При этом штамповка может выполняться как за один ход пуансона, так и за несколько переходов, т.е. матрица имеет несколько ручьев и производится много-ручьева штамповка. В качестве заготовки применяют калиброванный металл, чаще круглого и реже квадратного сечения. Штамповку от прутка без предварительной его разделки следует считать наиболее целесообразным процессом.

Следует отметить, что для штамповки на ГКМ чертеж поковки может составляться без напуска вследствие наличия разъемных матриц.

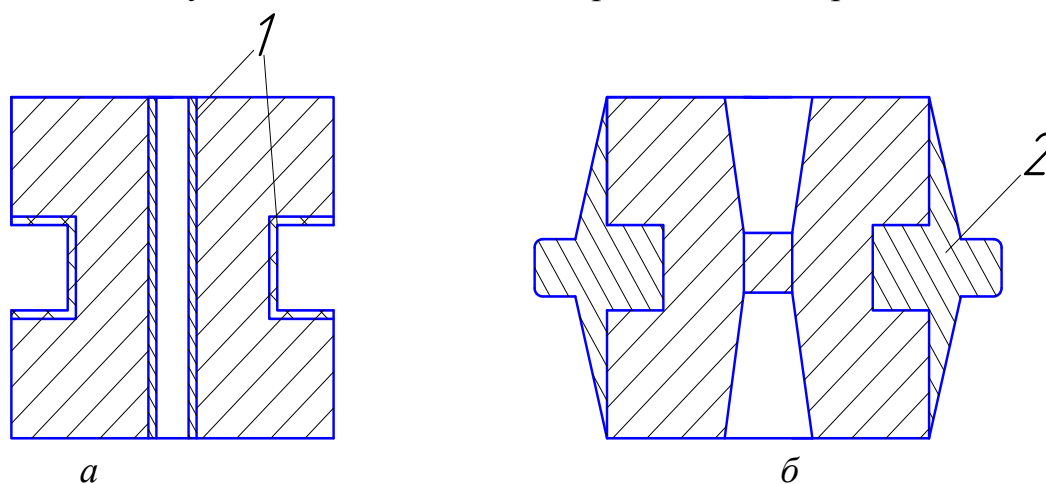


Рисунок 67 – Схема штамповки

Пример составления чертежа одной и той же поковки для штамповки на ГКМ(а) и для штамповки на молоте (б) 1 – припуск, 2 – напуск (рисунок 67).

При работе на ГКМ могут быть осуществлены следующие основные операции:

- осадка в торец и высадка середины заготовки;
- глубокая прошивка с раздачей металла в стороны;
- сквозная прошивка отверстий;
- гибка;
- отрезка отштампованной поковки от прутковой заготовки.

Помимо рассмотренных способов штамповки на молотах, прессах и ГКМ, в штамповочном производстве можно встретить обработку металла на машинах

специализированного назначения, например, гибку в горячем состоянии, можно пробивать отверстие, выполняемую на кривошипных машинах с горизонтальным перемещением ползуна. Такие машины называют бульдозерами и строят с номинальным усилием от 5 до 750 т. Заготовка – прокат различных профилей или поковки. Для получения фасонных заготовок несложной конфигурации: мединструмент, гаечные ключи, ножницы и т.д., периодического профиля используют ковочные вальцы, процесс периодической прокатки. Некоторые виды поковок: ступенчатые и конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и др. производят на ротационно-ковочных машинах, процесс редуцирования в холодном и горячем состоянии. Изготовление поковок на ротационно-ковочных машинах подобно операции вытяжки заключается в местном обжатии заготовки по ее периметру. В данном случае изделия получают с размерами высокой точности.

Объемной штамповкой в холодном состоянии, так называемой холодной высадкой, изготавливают все крепежные детали, заклепки, болты, шурупы, винты, гвозди и т.д. В качестве заготовок для холодной высадки используется калиброванный материал преимущественно круглого сечения диаметром от 0,6 до 38 мм. 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 $\pm 0,02-0,05$ мм и качественной поверхностью по 6-8 классу чистоты поверхности. При этом отход металла либо вовсе отсутствует, либо крайне незначителен. При высадке по сравнению с резаньем экономится до 80% металла. Например, при изготовлении болтов высадкой отходы металла почти в 25 раз меньше, чем при изготовлении их резаньем.

9.4 Калибровка (чеканка) поковок

Для придания поковкам или отдельным их частям точных размеров и повышения чистоты поверхности применяют калибровку (чеканку).

Калибровка (чеканка) производится с небольшими степенями деформации менее 5-10% на специальных кривошипно-коленных чеканочных прессах. Кинематическая схема одного из таких прессов имеет следующий вид (рисунок 68): кривошипно-коленный (шарнирно-рычажный) чеканочный пресс позволяет при небольшом крутящем моменте кривошипа 2 получить значительные усилия ползуна 1 на поковку 3.

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.

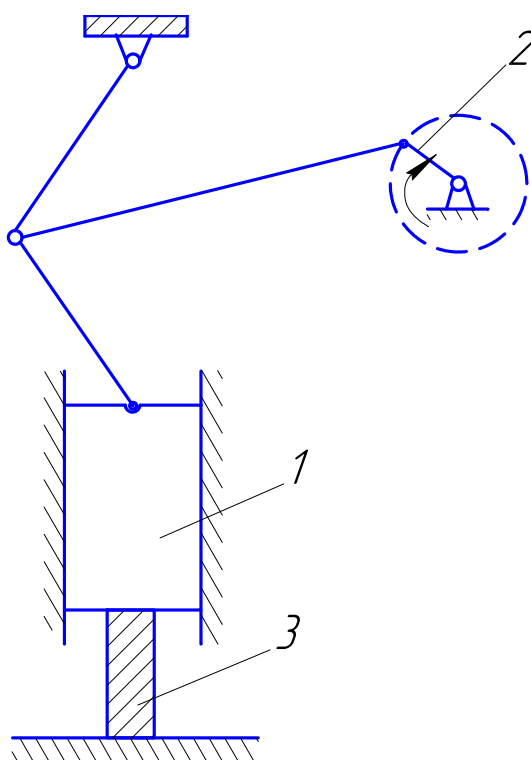


Рисунок 68 – Схема кривошипно-чеканочного прессы

Наибольшее применение имеет холодная калибровка, обеспечивающая весьма высокую точность размеров и качество поверхности поковок. Обычная точность калибровки колеблется в пределах от $\pm 0,1$ до $0,25$ мм с классом чистоты поверхности $\nabla 4$. После двукратной калибровки можно получить еще более высокую точность (до $0,025$ мм) с чистотой поверхности $\nabla 7$.

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.

10 ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

Листовой штамповкой называется способ изготовления изделий и деталей с помощью штампов из листового материала, ленты и полосы без значительного изменения толщины заготовки.

В качестве исходного материала при листовой штамповке используют все

технические металлы и их сплавы, способные принимать пластическую деформацию. Штамповке также подвергают картон, кожу, пластмассы и другие неметаллические материалы. Тонколистовой металл толщиной от сотых до 4 мм штампуются главным образом в холодном состоянии, а толстолистовой от 4 мм до нескольких десятков мм – чаще в горячем состоянии.

Процесс листовой штамповки отличается:

1 высокой производительностью (до 40000 деталей в смену с одного штампа);

2 легко поддается механизации и автоматизации;

3 обеспечивает высокую точность размеров;

4 хорошее качество поверхности отштампованных деталей.

Изделия, полученные листовой штамповкой, широко применяются в машиностроении, в авиационной промышленности, в электро- и приборостроении, производстве товаров широкого потребления и др. К примеру, более 70% деталей автомобилей, около 98% товаров широкого потребления изготавливаются листовой штамповкой.

10.1 Операции листовой штамповки

К основным операциям листовой штамповки относятся:

1 Разделительные, при которых одна часть металла отделяется от листа, ленты.

2 Формоизменяющие, при которой часть заготовки без разрушения смещается относительно другой ее части.

К разделительным операциям относятся отрезка – отделение части заготовки на листовых или дисковых ножницах (рисунок 69).

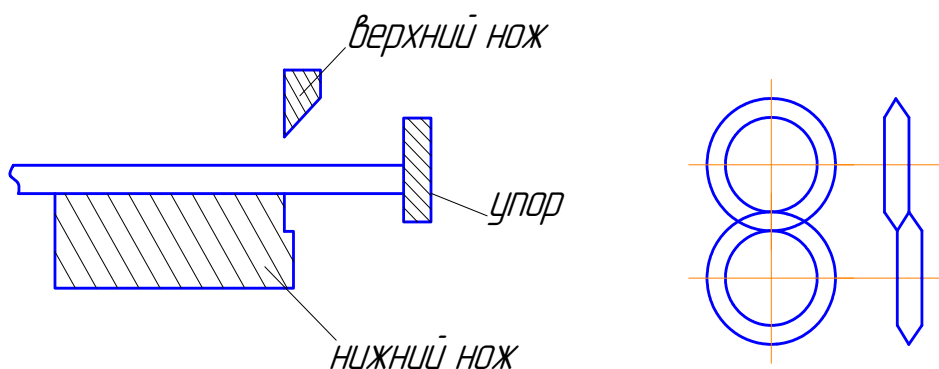


Рисунок 69 - Схема разделительной операции на дисковых ножницах

Вырубка и пробивка – отделение части заготовки по замкнутому контуру. При вырубке отделяемая часть является изделием или заготовкой, а при пробивке отделяемая часть – это отход. Пробивкой получают отверстия. Технологи-

гия обеих операций идентична: пуансон выдавливает отделяемую часть в отверстие матрицы.

Листовой штамповкой изготавливают миллионы однотипных деталей в год. Поэтому при вырезке деталей в целях экономии металла всегда стремятся наиболее рационально произвести раскрой листа. Применяют шахматное и наклонное расположение заготовок. Выход годных изделий при разделительных операциях составляет 70-80%.

К формоизменяющим операциям относятся гибка, вытяжка, отбортовка, формовка.

Гибка изменяет направление оси заготовки. При этом верхние слои заготовки сжимаются, а нижние – растягиваются (рисунок 70).

Нейтральный слой радиуса R растяжению и сжатию не подвергается. Минимальный радиус изгиба, при котором не возникает разрушение наружных слоев заготовки от растягивающих напряжений,

$$r_{\min} = (0,25-0,30)S,$$

где S – толщина заготовки.

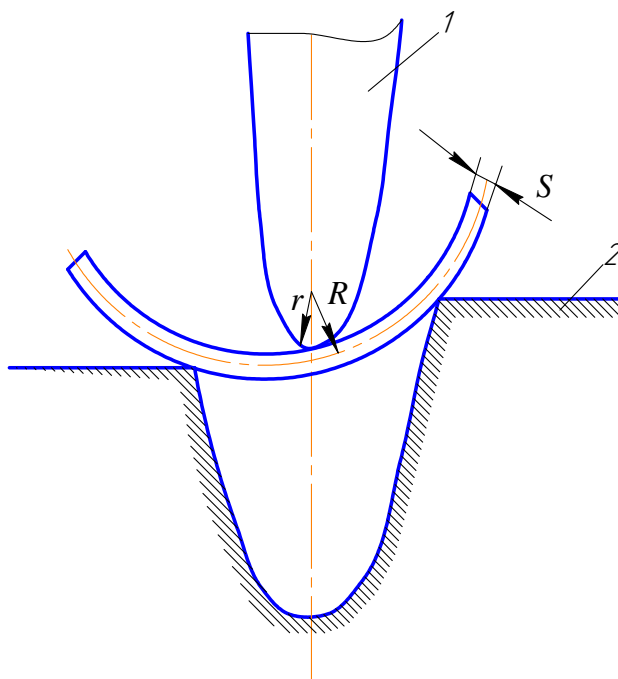


Рисунок 70 – Схема гибки

Естественно, что с увеличением пластичности изгибаемого материала можно уменьшить радиус изгиба.

Вытяжка – операция, при которой плоская заготовка превращается в полое изделие или полуфабрикат. Средняя часть заготовки, проталкиваемая пуансоном 1 в отверстие матрицы 2, уменьшает по диаметру заготовку (рисунок 71).

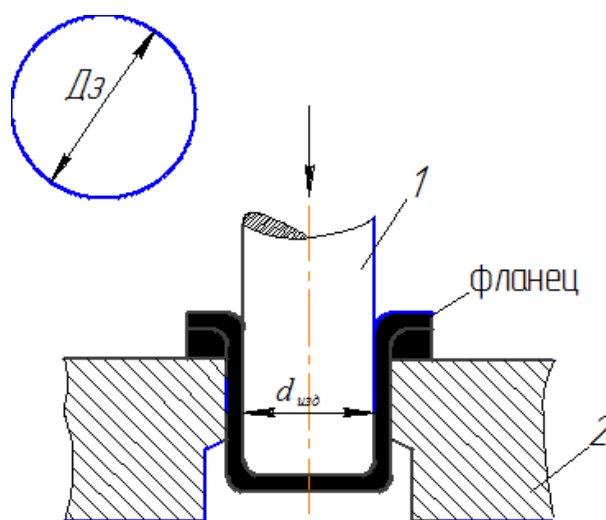


Рисунок 71 – Схема вытяжки

Операция заканчивается, когда вся заготовка проталкивается пуансоном через отверстие матрицы.

Чем больше отношение диаметра заготовки D_3 к диаметру вытянутого изделия $d_{изд}$, тем больше растягивающие радиальные напряжения и больше вероятность прорыва доньшка. Практически коэффициент вытяжки принимается равным

$$K = \frac{D_3}{d_{изд}} = 1,5 \div 2,0.$$

Ограничение коэффициента вытяжки не всегда позволяет получить изделие с заданным отношением высоты к диаметру за одну операцию вытяжки. Для этой цели проводят несколько операций вытяжки. Для последующей вытяжки служит полуфабрикат, диаметр полуфабриката уменьшается от вытяжки к вытяжке, а его длина увеличивается.

При вытяжке изделий из тонкого листа плоская часть заготовки (фланец) может свертываться с образованием складок. Для предупреждения складкообразования при вытяжке применяют (прижимы) складкодержатели.

Складкодержатель 3 прижимает фланец заготовки к плоскости матрицы 2 и складки не образуется. Для снижения трения при вытяжке, чтобы уменьшить вероятность прорыва доньшка, применяют смазку – минеральными маслами, чистыми и в смеси с графитом, мелом или тальком, мыльными эмульсиями (рисунок 72).

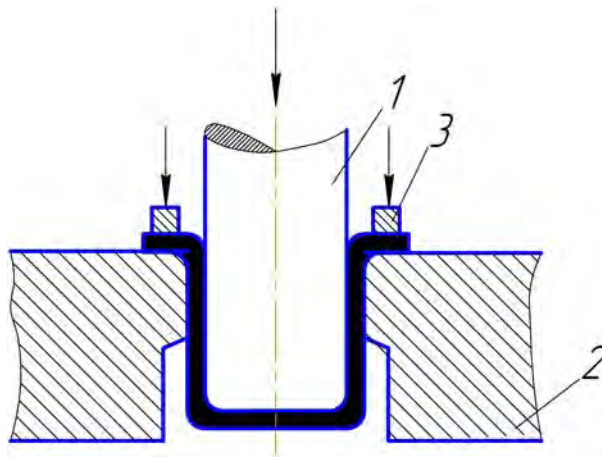


Рисунок 72 – Схема вытяжки со складкодержателем

Отбортовка – образование борта по внешнему или внутреннему контурам изделия (рисунок 73).

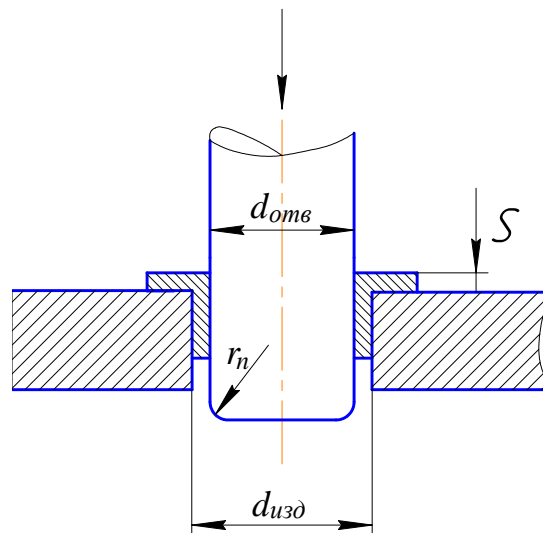


Рисунок 73 – Схема отбортовки

Для малых отверстий применяют сферический или конический пуансон с радиусом закругления $r_n = (5 \div 10)S$. Увеличение диаметра отверстия оценивается коэффициентом отбортовки $K_{от}$. Чтобы не возникло трещин по краю отверстия при отбортовке, выбирают

$$K_{от} = \frac{d_{изд}}{d_{отв}} = 1,4 \div 1,6 .$$

Формовка – местные изменения форм заготовки в результате локальных деформаций растяжения (рисунок 74).

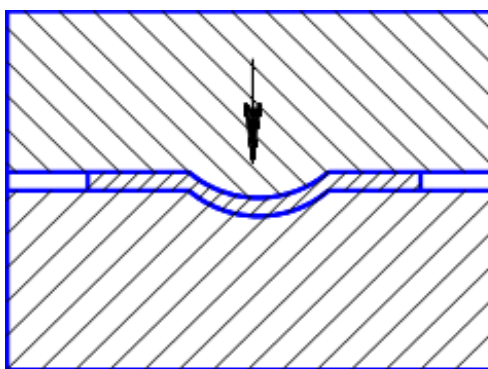


Рисунок 74 – Схема формовки

Примером формовки может служить раздача средней части вытянутого полуфабриката 1 при помощи резинового вкладыша 2, создающего боковое давление на стенки стакана под действием осевого усилия пуансона (рисунок 75). После формовки вкладыш легко удаляется из изделия.

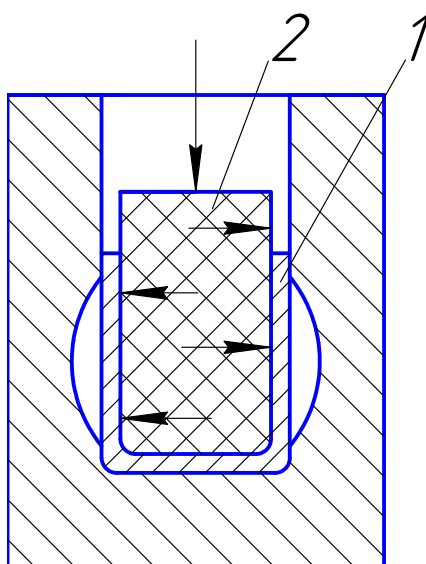


Рисунок 75 - Схема раздачи полуфабриката

10.2 Штампы и оборудование для листовой штамповки

В прессовых цехах применяется большое количество штампов, которые различаются:

- по роду выполняемых операций;
- по способу направления рабочих частей штампа;
- по способу подачи заготовок и удаления деталей и отходов из штампа.

Штампы могут быть предназначены для выполнения одной или нескольких операций. В первом случае они называются однооперационными вырубные, гибочные, вытяжные и т.д., во втором – многооперационными. В свою

очередь, многооперационные штампы делятся на совмещенные, в которых все операции над одной заготовкой выполняются одновременно, в течение одного хода пресса, и на последовательные, когда операции над заготовкой выполняются одна за другой, каждая за отдельный ход пресса.

Схематично штампы простого действия для вырубki прутков состоят из пуансона 1, который крепится к верхней плите пуансонодержателем 7, а плита крепится к ползуну пресса матрицы 2, которая крепится с помощью матрицедержателя 8 к нижней плите 4, а нижняя плита крепится к столу пресса.

Соосность пуансона и матрицы достигается при помощи направляющих колонок 6 и втулок 5 (рисунок 76).

Основными деталями всякого штампа являются рабочие детали – матрица 2 и пуансон 1, непосредственно выполняющие операции над заготовкой. Форма и размеры их полностью определяются формой и размерами штампуемой детали.

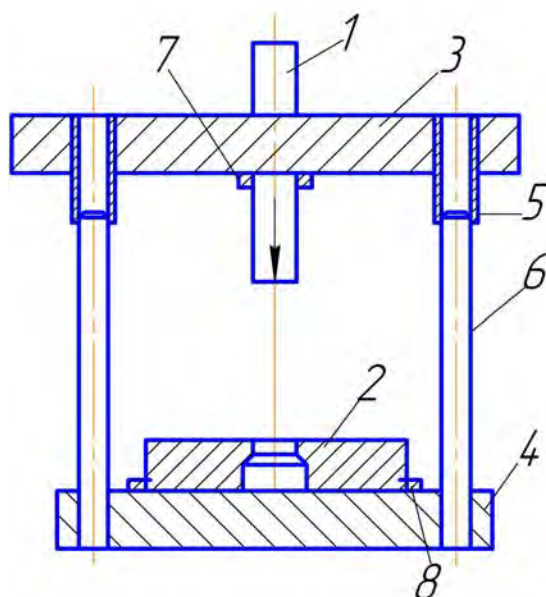


Рисунок 76 – Схема вырубного штампа

Основным видом оборудования для листовой штамповки являются ножницы, а также кривошипные и гидравлические прессы.

Кривошипные прессы получили наибольшее применение. По конструкции они весьма разнообразны. Это объясняется особенностями производимых на них операций, например, для операций вырубki и пробивки применяются прессы простого действия с небольшим ходом ползуна пресса, а для операции вытяжки – прессы двойного действия с большим ходом ползуна пресса.

Для вытяжки сложных деталей применяют специальные прессы двойного действия и тройного действия. Основной конструктивной особенностью таких прессов является наличие двух (трех) ползунов. Для штамповки из тонкого листа применяются также винтовые фрикционные прессы.

Гидравлические прессы обладают наилучшей характеристикой для выполнения процесса листовой штамповки. Они осуществляют деформирование листового металла с постоянной скоростью. Для этих прессов не опасна перегрузка, недопустимая при работе на кривошипных прессах.

10.3 Технологический процесс листовой штамповки

Выбор рационального технологического процесса листовой штамповки зависит от числа изготавливаемых деталей (серийности), формы детали, заданной точности изготовления и качества поверхности.

В общем случае при изготовлении любых деталей технологический процесс включает следующие операции:

- подготовку материала;
- получение заготовок (резкой, вырубкой по контуру, пробивкой);
- формоизменение заготовок (гибкой, вытяжкой, формовкой и т.д.);
- термическую обработку (перед штамповкой, для снятия наклепа и после штамповки для получения заданной структуры и свойств металла);
- отделку (калибровка, галтовка, для удаления заусенцев, травление, промывка, полирование, нанесение покрытий и т.д.).

При разработке технологического процесса по чертежу готовой детали определяют форму и размеры заготовки, выбирают исходный материал (лист, ленту, полосу) и устанавливают способ его раскроя (с отходами и без отходов).

Затем определяют число и последовательность операций, разрабатывают конструкцию штампов, выбирают смазку (мыльную воду, машинное и сурейное мыло, технический вазелин, тальк и т.д.).

После этого определяют тип и номинальное усилие прессы, ход ползуна, устанавливают необходимость применения термической обработки и виды отделочных операций, а также методы контроля точности и качества деталей, нормы времени и т.д.

Получение изделий листовой штамповкой характеризуется прежде всего коэффициентом использования материала K_u при раскрое, который определяют по формуле:

$$K_u = \frac{nF}{BL} \leq 1 \text{ или } K_u = \frac{nF}{BL} 100\% , \quad (11)$$

где n – число деталей (заготовок), получаемых из исходной полосы или ленты;

F – площадь детали (заготовки);

B и L – ширина и длина исходной полосы или ленты.

Коэффициент использования материала при раскрое во многом зависит от формы детали (заготовки) и способа раскроя. При раскрое с отходами $K_u = 75 \div 80\%$, при безотходном раскрое коэффициент K_u близок к 100%. Однако

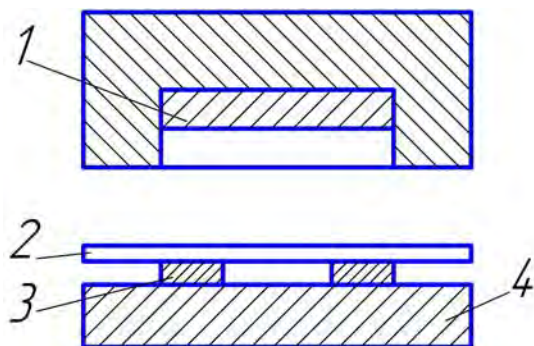
этот коэффициент не учитывает потери металла на обрезку припусков после вытяжки или формовки, окалину после термообработки и т.д. Поэтому общий коэффициент использования материала K_u несколько меньше коэффициента использования материала K_u при раскрое.

10.4 Другие способы обработки листовой заготовки

При изготовлении деталей небольшой серии применение сложных штампов неэкономично, поэтому применяют другие способы штамповки, а именно: штамповку резиной, деформирование заготовки на токарно-давилных станках, гидравлическую штамповку обтягиванием, штамповку взрывом, штамповку с подогревом, штамповку по элементам и другие способы.

Штамповка резиной осуществляется на кривошипных, фрикционных или гидравлических прессах. Этим способом можно осуществлять вырубку, пробивку, гибку, отбортовку и вытяжку. Однако контур вырубki этим способом получается рваный (с зазубринами и мелкими трещинами), такой контур является причиной разрушения деталей при их эксплуатации. Штамповка резиной применяется для алюминиевых, медных и углеродистой стали толщиной до 2 мм.

Сначала заготовка прижимается к шаблону, а затем обрабатывается заготовка на линии соприкосновения с острыми краями шаблона (рисунок 77).

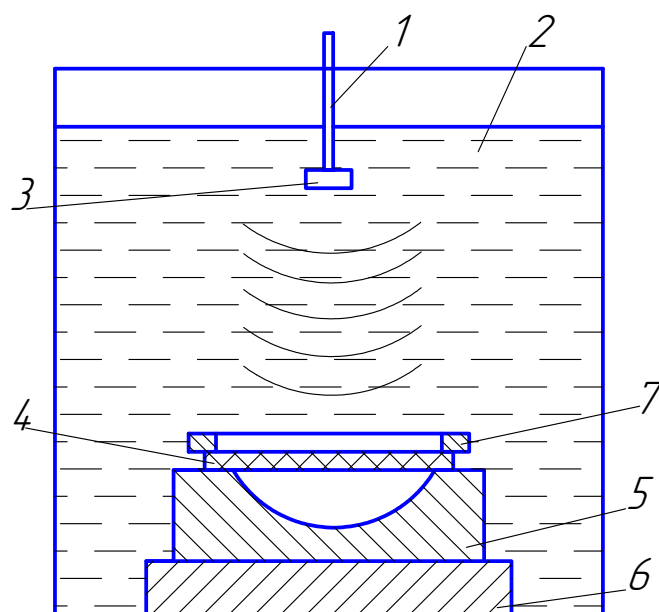


1 – резиновая подушка; 2 – лист-заготовка; 3 – шаблон; 4 – стол прессы

Рисунок 77 – Схема штамповки резиной

При штамповке жидкостью или взрывом заготовка принимает форму полости матрицы под давлением жидкости или газов.

При штамповке взрывом в металле возникает большое удельное давление (100000 кг/см^2) при весьма высоких скоростях деформирования (рисунок 10.4.2). Взрывная штамповка через воду развивает большую энергию деформирования, чем газы (рисунок 78).



1 – провод для подтягивания заряда, 2 – вода, 3 – заряд с детонатором,
4 – заготовка, 5 – матрица, 6 – основание, 7 – прижимное кольцо

Рисунок 78 – Схема штамповки взрывом

При штамповке взрывом труднодеформируемые металлы – нержавеющая сталь, титановые сплавы и другие – становятся более пластичными и могут быть подвергнуты деформированию примерно на 75% больше, чем при обычных методах штамповки. При такой штамповке не требуется сложного оборудования.

Давильные работы, предназначенные для получения деталей в форме тел вращения, выполняют на токарно-давильных станках. Листовую заготовку прижимают к торцу вращающейся оправки и с помощью давилников постепенно преобразуют плоскую заготовку в полую деталь.

На давильных станках получают пустотелые цилиндрические и конические детали, причем после этих операций толщина исходного листа практически не изменяется, принимают для деталей из цветных металлов и сплавов – толщиной до 2 мм.

Ручное выдавливание экономически целесообразно в единичном и мелкосерийных производствах, когда изготовление штампов является нерентабельным или когда данную деталь невозможно получить обычной штамповкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 511 с.
- 2 Ковка и штамповка: Справочник в четырех томах / Под ред. Е.И. Семенова.- М: Машиностроение, 1985. – 300 с.
- 3 Ерманюк М.З., Ватрушин Л.С. Волочение цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 287 с.
- 4 Зюзин В.И., Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – Челябинск: Металл, 1994. – 368 с.
- 5 Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. – М.: Металлургия, 1982. – 131 с.
6. Филинков М.Д., Быков Ф.М. Основы обработки металлов давлением. - Иркутск: Изд-во Иркутского гос.ун-та, 1990. – 128 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Напряжения и деформации	6
1.1 Краткое понятие о напряженном состоянии тела	6
1.1.1 Схемы напряженного состояния.	8
1.1.2 Схемы главных деформаций	10
1.1.3 Закон постоянства объема. Коэффициенты, характеризующие пластическую деформацию	11
1.1.4 Связь между напряжениями и деформациями	19
2 Строение металлов.....	22
2.1 Деформация монокристалла и поликристалла	23
2.2 Влияние пластической деформации на структуру и свойства поликристалла	25
2.3 Горячая и холодная деформация	27
3 Влияние различных факторов на пластичность металлов	29
3.1 Влияние состава и структуры металла	29
3.2 Влияние схем напряженного состояния	31
3.3 Влияние неравномерности деформации	31
3.4 Влияние скорости деформации	31
3.5 Влияние температуры	32
3.6 Нагрев металла перед обработкой давлением	34
3.7 Нагревательные устройства	36
4 Прокатка.....	37
4.1 Классификация процессов прокатки	37
4.2 Условие захвата металла валками	40
4.3 Устройство и классификация прокатных станов	44
4.3.1 Классификация станов по назначению	46
4.3.2 Классификация прокатных станов по расположению рабочих клеток	47
4.3.3 Калибровка валков	50
4.3.4 Технологические операции прокатного производства	51
5 Прокатка и сварка труб	52
6 Волочение	53
6.1 Устройство волоки	54
6.2 Основные величины, характеризующие деформацию при волочении	55
6.3 Волочительные станы.....	56
6.4 Технологические операции при волочении	59
7 Прессование металла	60
7.1 Оборудование и инструмент для прессования	62
7.2 Технология прессования.....	63
7.3 Гидростатическое прессование	64
8 Свободная ковка	65
8.1 Ковочные молоты и прессы	69
9 Горячая объемная штамповка	71
9.1 Штамповка на молотах	73
9.2 Штамповка на прессах	76
9.3 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	79
9.4 Калибровка (чеканка) поковок.....	81
10 Листовая штамповка.....	82
10.1 Операции листовой штамповки	83
10.2 Штампы и оборудование листовой штамповки	87
10.3 Технологический процесс листовой штамповки	89
10.4 Другие способы листовой штамповки	90
Список литературы	92

Учебное издание

Дудоров Владимир Иванович
Дудорова Татьяна Александровна

**ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие

Редактор О.Г. Арефьева

Подписано в печать	Формат 60×84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 5,75	Уч-изд.л. 5,75
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.