

Роль и место Обработки металлов Давлением в общем цикле металлургического производства

1. Две стадии производства металлопродукции:

I – «жидкая металлургия» – задача: из исходного сырья (руда, окатыши, энергоносители, восстановители и др.) получить металл требуемого химического состава;

II – «твердая металлургия» - задача: из исходного литого металла, при практически неизменном химическом составе, получить изделия требуемой формы, с заданной структурой, механическими, физическими и др. (в том числе специальными) свойствами – это достигается в процессах различных процессов ОМД и ТО

2. В настоящее время ~ 90 % выплавляемого металла подвергается дальнейшей переработке различными способами Обработки Давлением;

3. Технологические процессы, основанные на использовании различных способов ОМД, характеризуются большим разнообразием, совмещаются с другими способами обработки (термической, химической, химикотермической, механической и др.);

4. Технологические процессы ОМД характеризуются высокой производительностью, механизацией, автоматизацией, использованием информационных технологий, современным высокоточным оборудованием;

5. Технологические процессы ОМД характеризуются высокими технико-экономическими показателями (низкие расходные коэффициенты, высокие коэффициенты выхода годного, низкая себестоимость выпускаемой продукции и др.).

Некоторые особенности процессов Обработки Металлов Давлением

1. Большие величины деформаций, учёт которых вызывает существенные затруднения математического характера;
2. Изменение свойств металла в процессе деформации, что также учесть весьма сложно;
3. Широкий диапазон изменения температурных условий, в том числе использование высоких температур, наличие тепловыделений, фазовых превращений;
4. Процессам ОМД всегда сопутствует трение. Законы деформационного трения существенно отличаются от законов трения скольжения и качения;
5. Наличие неоднородности деформации и характеристик металла по его объему;
6. Использование значительных гидростатических давлений, ультразвука, облучения, электромагнитных полей, совместная физико-химическая и термомеханическая обработка требует совместного использования знаний в области смежных дисциплин.

ТОМД как наука, ее взаимосвязь с другими науками о металле. Основные задачи ТОМД «Физическое» направление ТОМД:

- Формирование представлений о физических механизмах процессов пластического формоизменения металлических материалов;
- Изучение физических явлений, протекающих при пластической деформации, влияния параметров процессов ОМД (температурных, скоростных, деформационных и др.) на изменение физико-механических свойств деформируемых материалов;
- Изучение влияния особенностей кристаллического строения металлов и сплавов, химического и фазового составов, структуры, температурных условий и др. на процессы пластической деформации;

Механико-математическое представление о процессах пластической деформации:

- идеализированное представление о деформируемой среде;
- использование положений теории упругости и теории пластичности;
- анализ напряженного и деформированного состояния, величины и распределения напряжений в пластически деформируемом теле;
- условия перехода деформируемого тела из упругого состояния в пластическое.

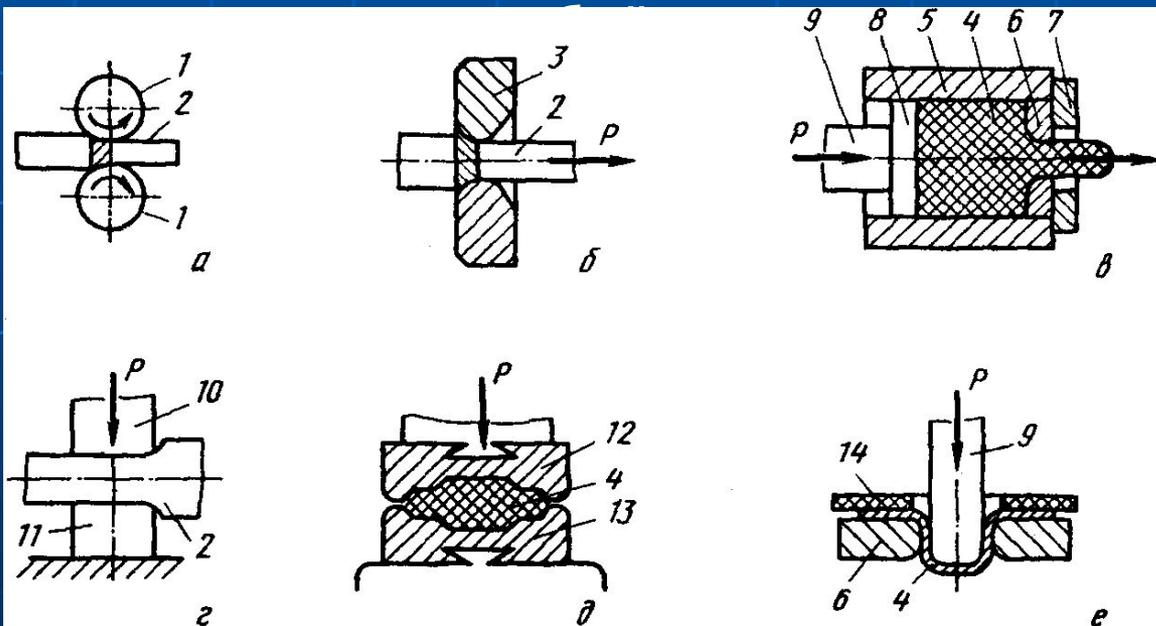
Анализ влияния основных параметров процессов ОМД на поведение металлов в процессе деформации:

- Пластичность;
- Сопротивление деформации;
- Формирование показателей, определяющих качество готовых изделий.

Общая характеристика процессов обработки металлов давлением. Виды процессов ОМД

В зависимости от формы и размеров изделия, а также свойств деформируемого металла или сплава применяют различные процессы обработки давлением.

Основными способами обработки металлов давлением являются прокатка прокатка, волочение прокатка, волочение, прессование прокатка, волочение, прессование, ковка прокатка, волочение,



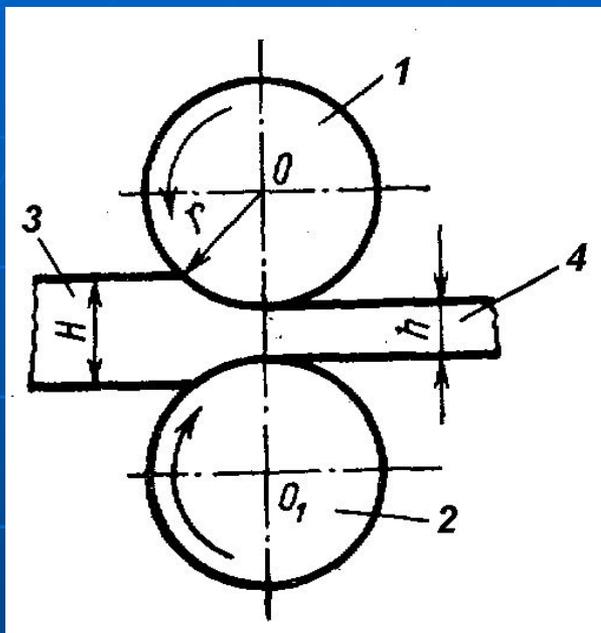
окавка прокатка, волочение, валки; 2 – овая штамповка: волока; 4 – заготовка; 5 – цилиндр-контейнер; 6 – матрица; 7 – матрицедержатель; 8 – пресс-шайба; 9 – пуансон; 10 – верхний боек; 11 – нижний боек; 12, 13 – штампы; 14 – прижим.

а - прокатка; б - волочение; в - прессование; г - ковка;
д - объёмная штамповка; е - листовая штамповка

Прокатка

- Прокатка металлов – вид пластической обработки, при котором исходная заготовка втягивается во вращающиеся прокатные валки и, проходя через зазор между ними, деформируется и приобретает форму и размеры поперечного сечения соответствующие межвалковому зазору.
- Прокатка является наиболее распространенным способом ОМД: ~ 90 % выплавляемого металла прокатывается на прокатных станах.
- Процесс прокатки имеет большое число разновидностей. К основным способам прокатки относят: продольную, поперечную, поперечно-винтовую.

Продольная прокатка

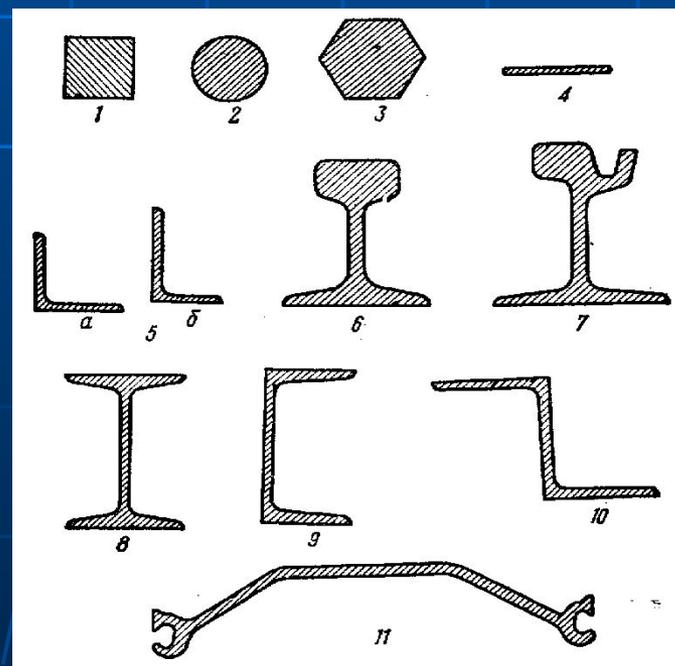


Исходная заготовка (3) толщиной H задается в прокатные валки (1 и 2), вращающиеся в противоположные стороны. Готовое изделие (4) принимает размеры (h) и форму межвалкового зазора.

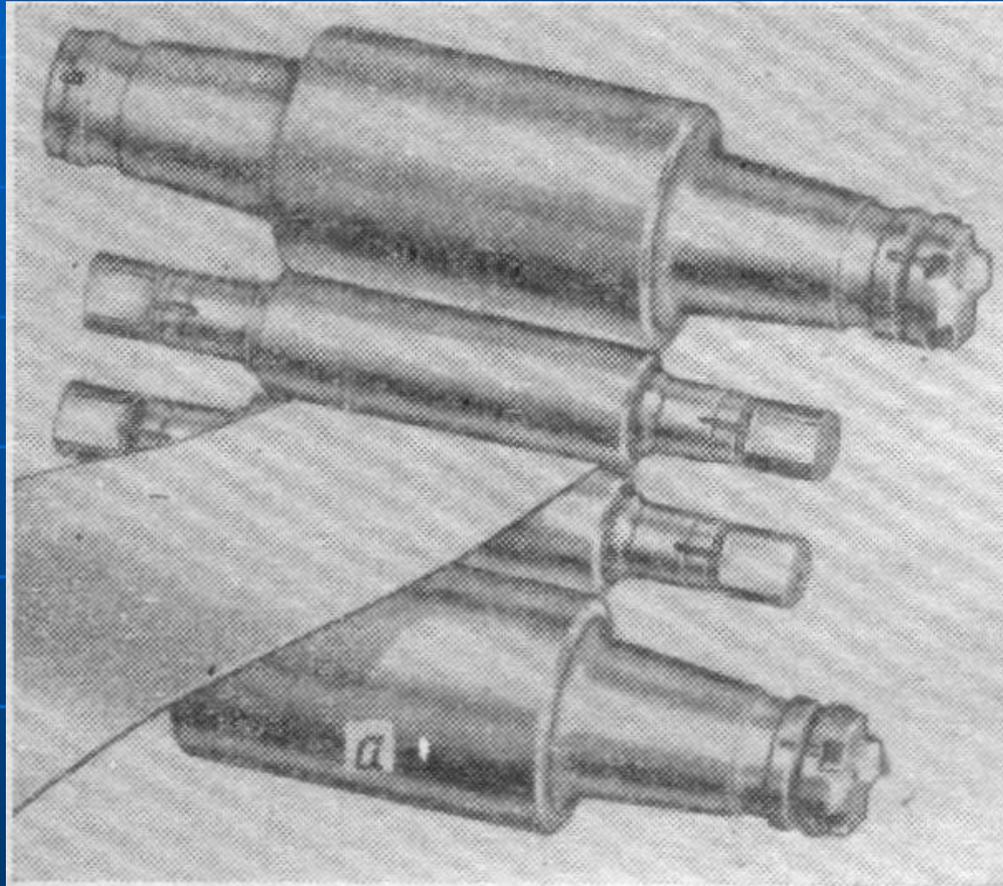
Признак продольной прокатки: прокат (4) имеет одинаковое направление движения с вектором скорости валков при выходе из зоны деформации (плоскость $O-O_1$), а также перемещается перпендикулярно осям валков

Продольная прокатка – наиболее распространенный способ прокатки. С ее использованием производят:

- Простые сортовые профили (1, 2, 3);
- Плоский прокат (4);
- Фасонные сортовые профили (5 – 11).



Продольная прокатка

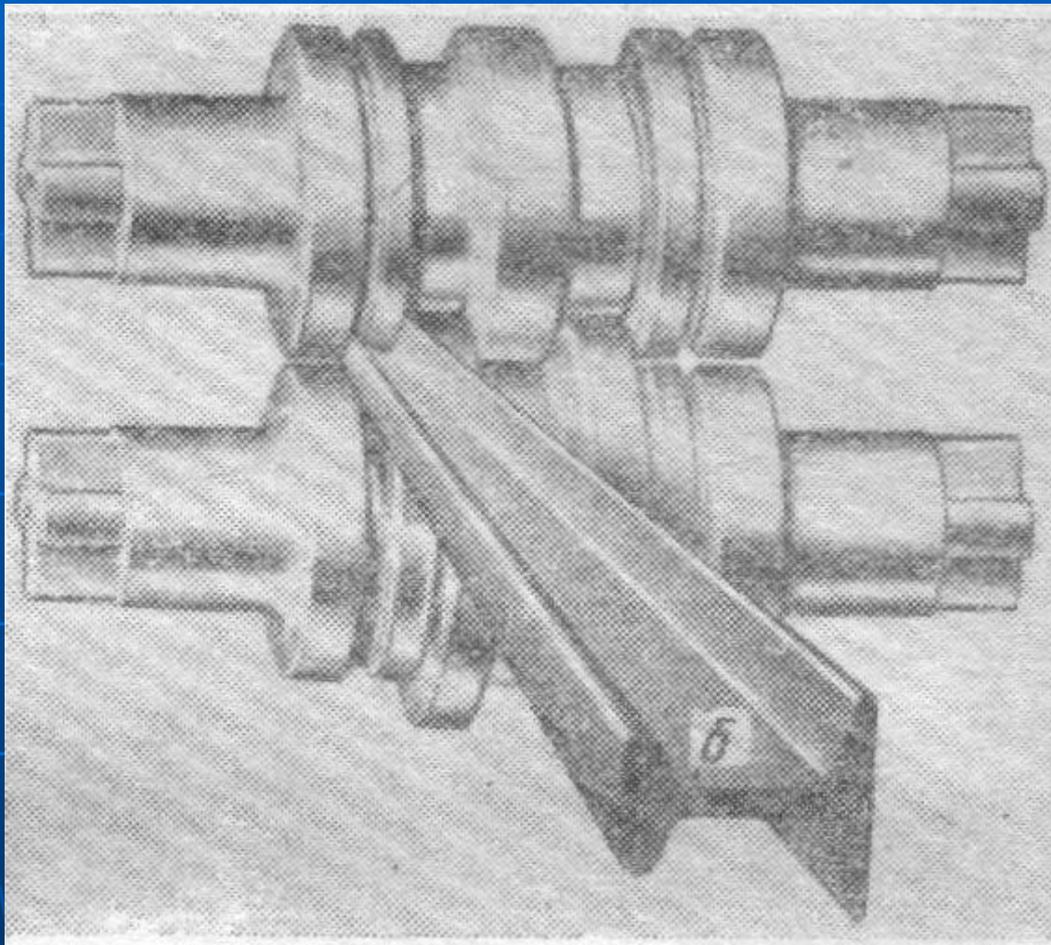


Получение листового (плоского) проката способом продольной прокатки

Современный толстолистовой стан

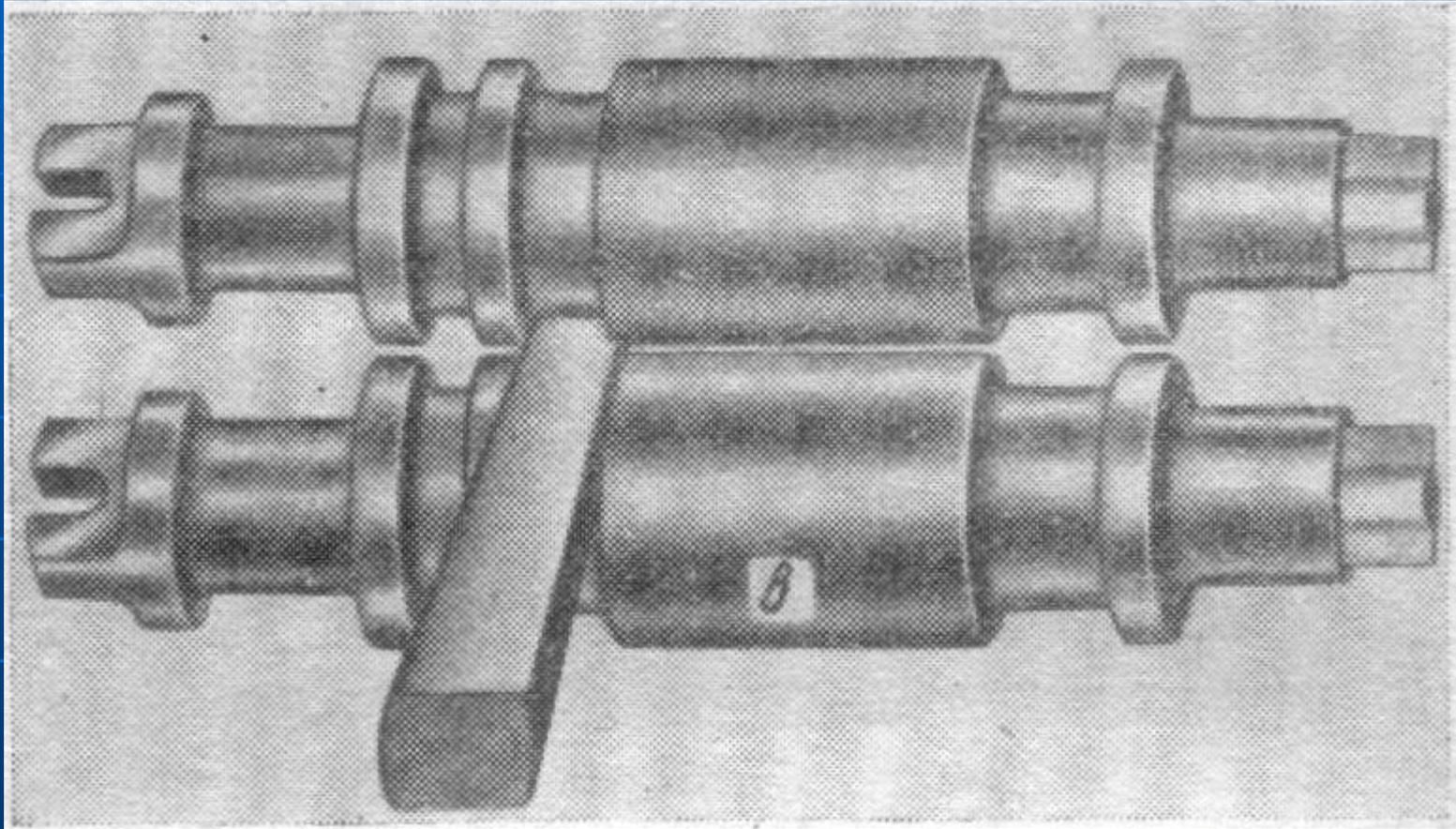


Продольная прокатка



Получение сортового проката (рельса) способом продольной прокатки

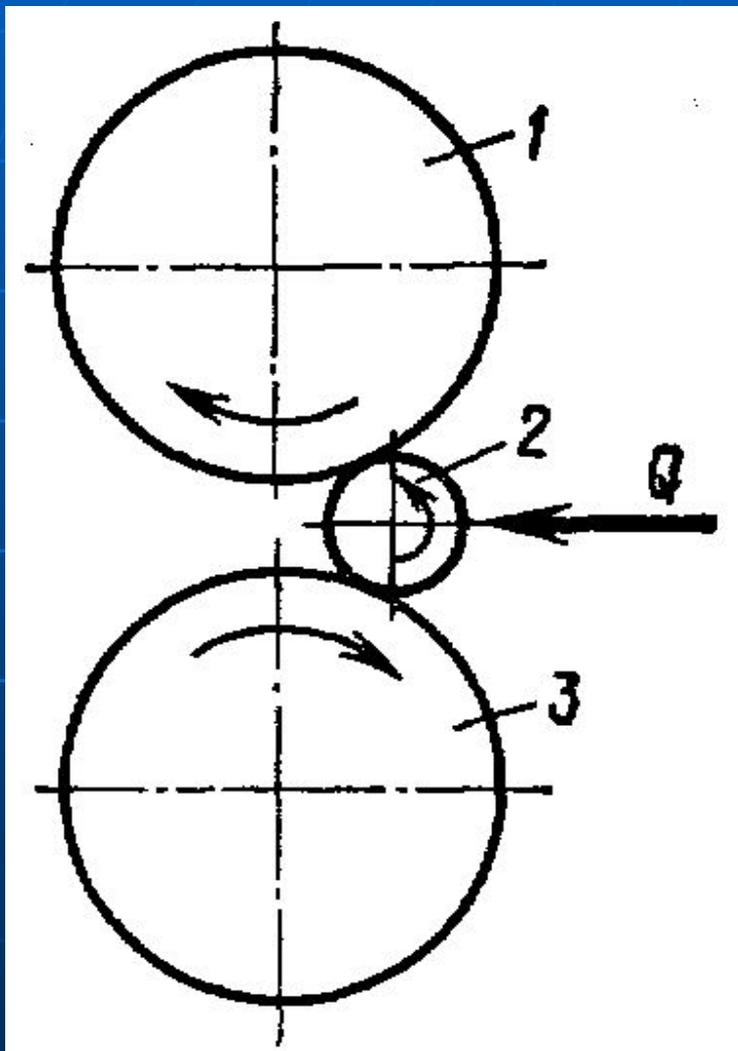
Продольная прокатка



Валки стана продольной прокатки для получения сортового и листового проката

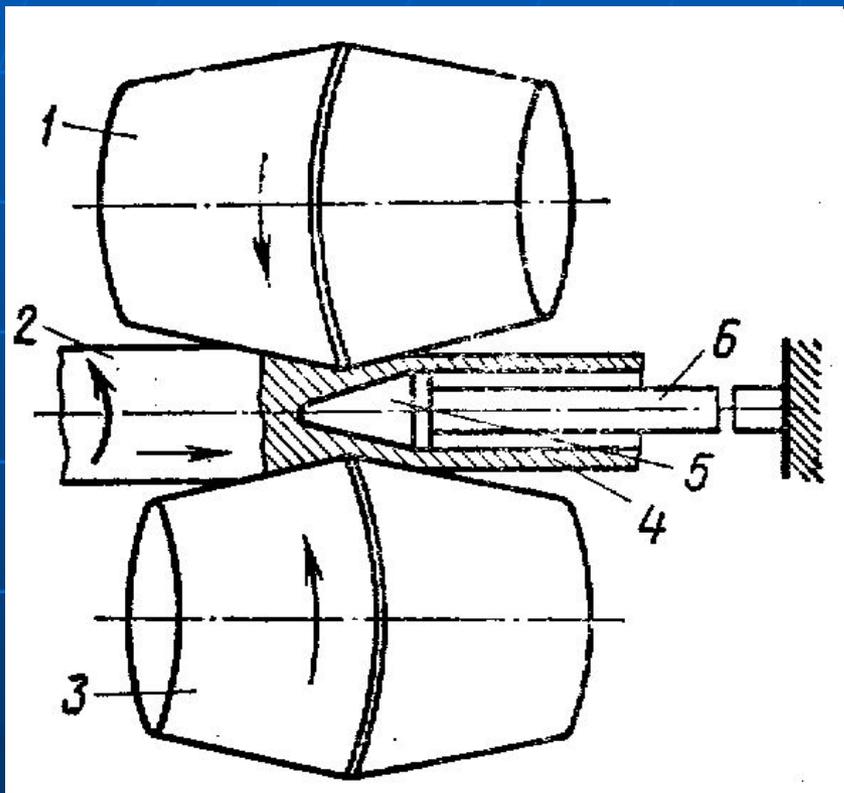
Поперечная прокатка

Схема поперечной прокатки.



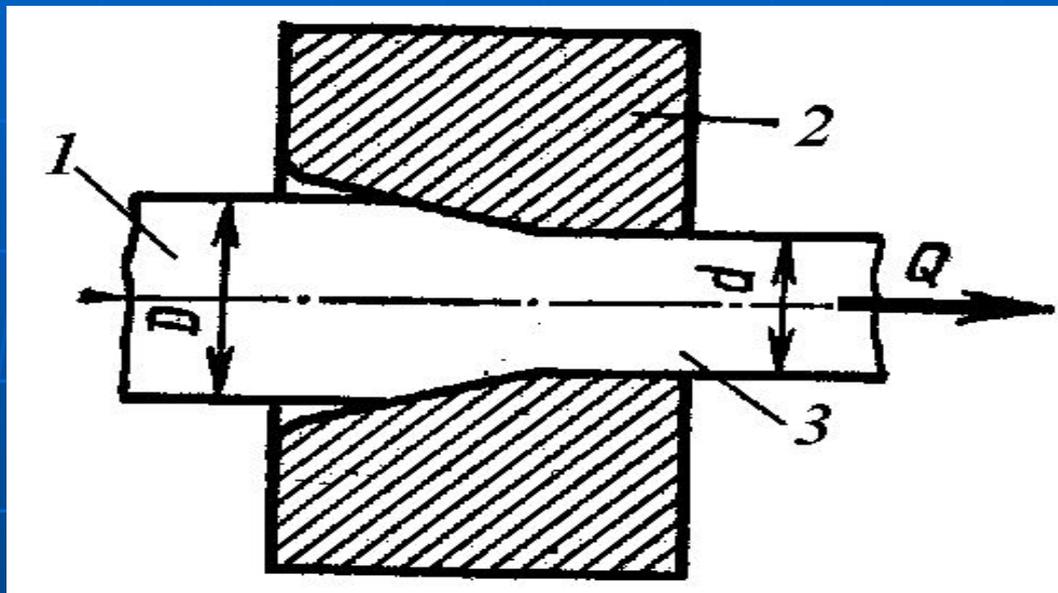
Оси прокатных валков 1 и 3 и обрабатываемой заготовки 2 параллельны. Оба вала вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения — в противоположном. В процессе поперечной прокатки обрабатываемая заготовка удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечиваются соответствующей профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят изделия, представляющие собой тела вращения (шары, оси, шестерни и пр.).

Поперечно-винтовая прокатка



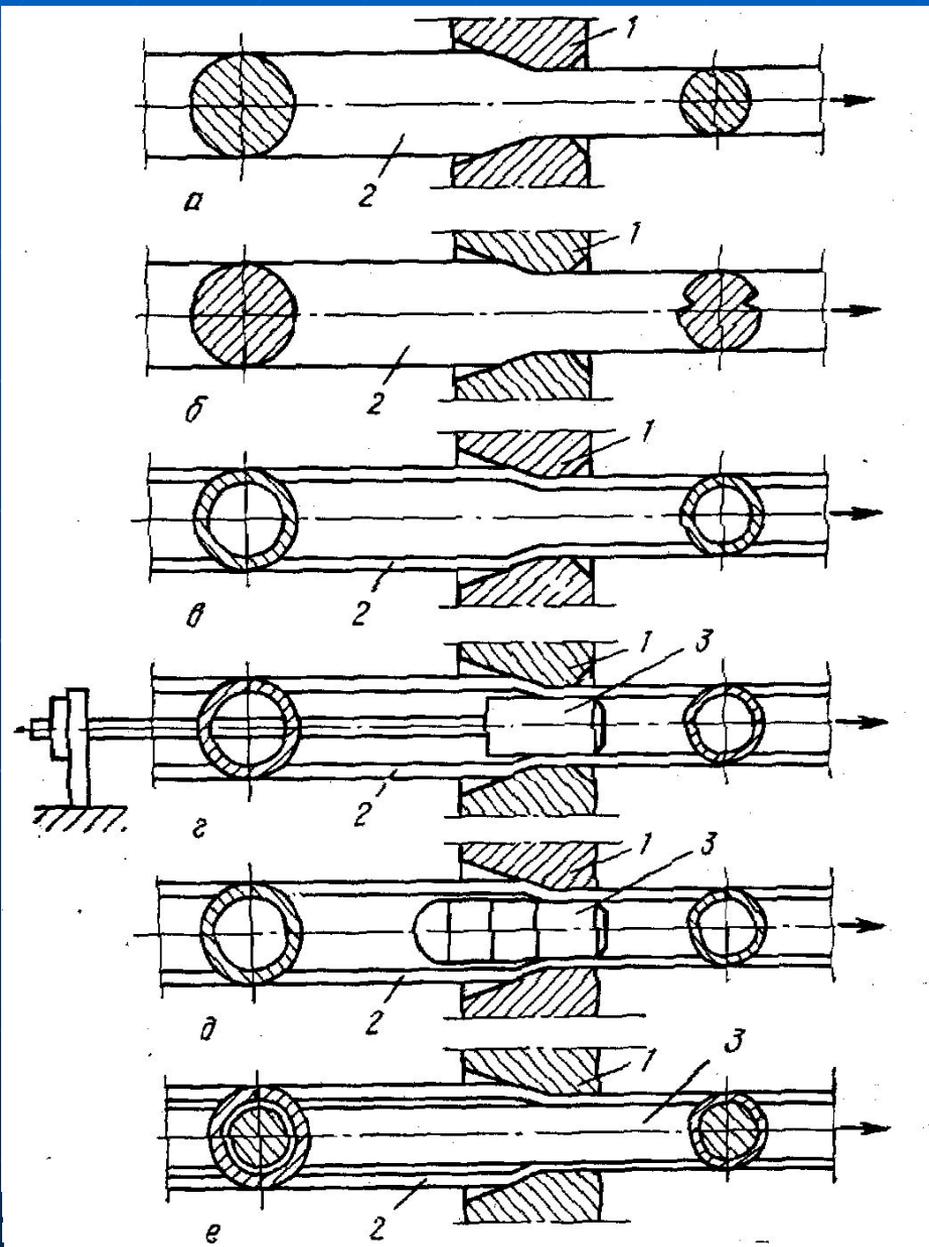
Поперечно-винтовая или косая прокатка выполняется во вращающихся в одном направлении валках, установленных в прокатной клети под некоторым углом друг к другу. Станы косой прокатки используют при производстве труб, главным образом для прошивки слитка или заготовки в гильзу. В момент соприкосновения металла с вращающимися валками, имеющими наклон к оси обрабатываемой заготовки, возникают силы, направленные вдоль оси заготовки, и силы, направленные по касательной к ее поперечному сечению. Совместное действие этих сил обеспечивает вращение, втягивание обрабатываемой заготовки в суживающийся зазор и деформирование.

Волочение



Волочение - способ обработки металла давлением, при котором исходная заготовка (1) постоянного поперечного сечения, со специально подготовленным (заостренным) передним концом, вводится в сужающийся канал волоочильного инструмента (волоки - 2). Этот конец захватывают специальным тянущим механизмом и протягивается (проволакивается) через канал волоки. Форма поперечного сечения канала близка к форме поперечного сечения готового изделия (3). Заготовка, проходя через волоку, деформируется, поперечное сечение ее изменяется, и она после выхода из волоки принимает форму и размеры наименьшего сечения канала. Длина полосы при этом возрастает прямо пропорционально уменьшению поперечного сечения.

Волочение

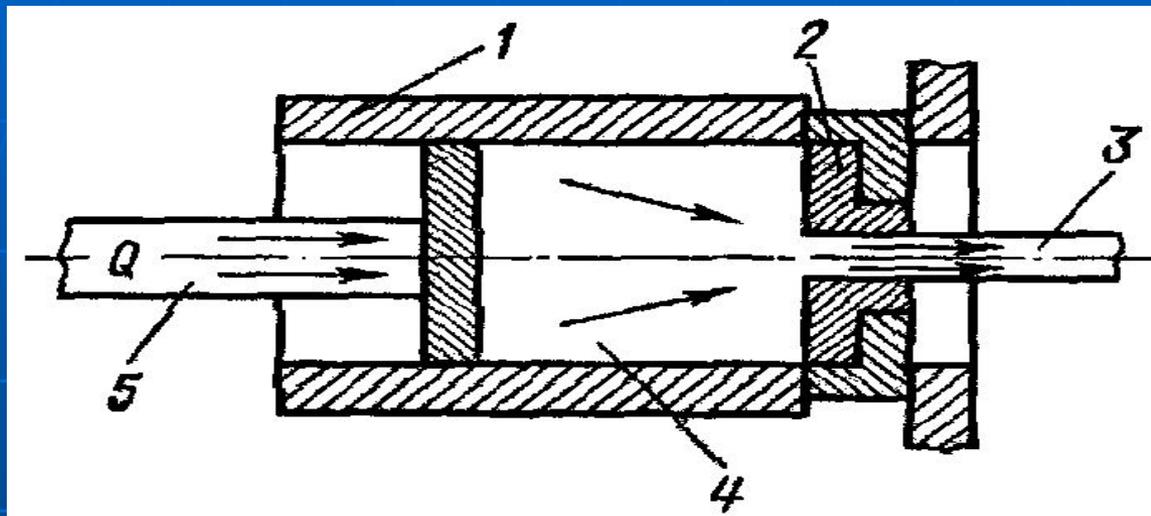


Разновидности процесса

ВОЛОЧЕНИЯ:

a — круглого сплошного профиля;
б — некруглого сплошного профиля;
в — круглой трубы, без оправки; *г* —
круглой трубы, на закрепленной
оправке; *д* — круглой трубы, на
самоустанавливающейся оправке; *е*
— круглой трубы, на подвижной
оправке; *1* — волока; *2* —
протягиваемое изделие; *3* — оправка

Прессование



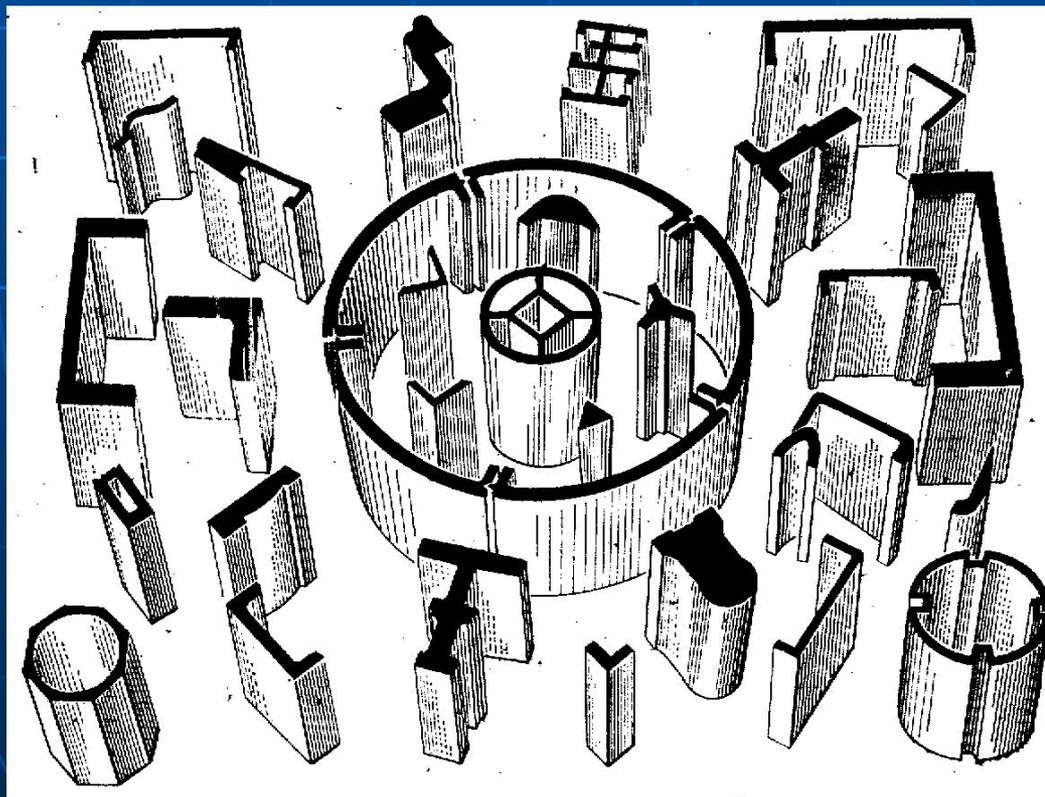
Процесс прессования (экструдирования) представляет собой выдавливание исходной заготовки (4), помещенной в замкнутую полость контейнера (1) через отверстие матрицы (2). Деформация осуществляется под действием силы Q , передаваемую металлу пуансоном (5) через пресс-шайбу.

Особенности прессования:

- 1) Возможность деформирования малопластичных, высокопрочных материалов;
- 2) Возможность деформирования с большими степенями и скоростями деформации;

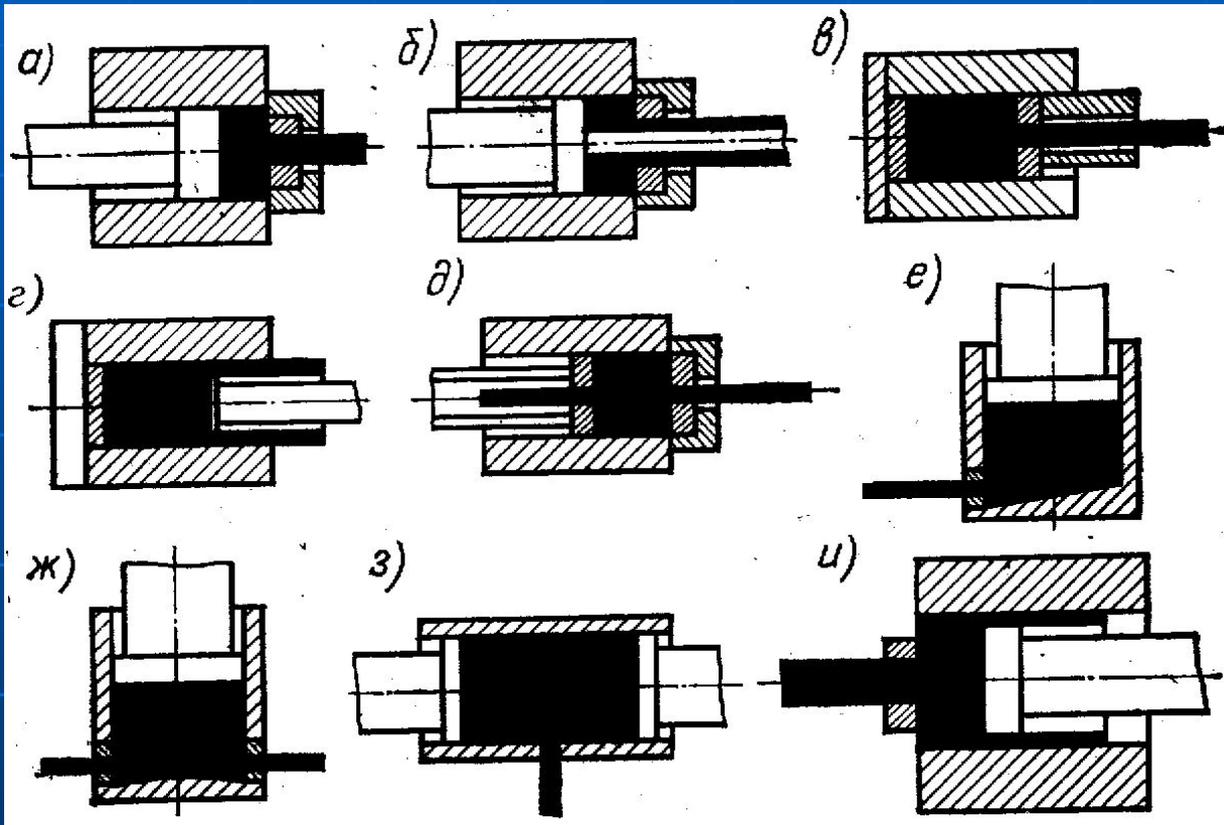
Прессование

3) Прессованием получают сплошные и полые профили очень сложной формы поперечного сечения — трубы с наружными и внутренними продольными и поперечными ребрами, полые профили с несколькими каналами сложной формы и т. п. Некоторые профили, получаемые прессованием, другими способами ОМД получить невозможно.



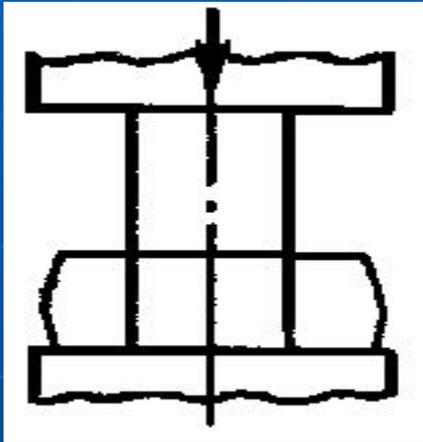
Прессование

Разновидности процесса прессования

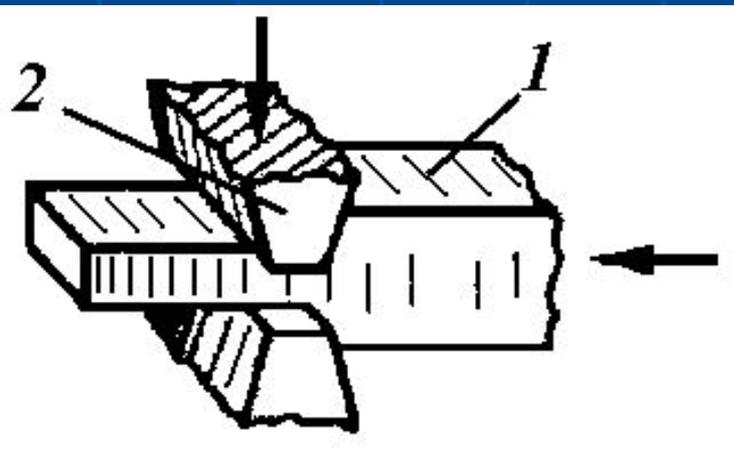


а) – с прямым истечением прутка; б) - с прямым истечением трубы; в) - с обратным истечением прутка; г) - с прямым истечением трубы; д) – с совмещенными прямым и обратным методами истечения; е) – с боковым истечением в один канал; ж) - с боковым истечением в два канала; з) – двусторонним боковым истечением; и) – прессование с «рубашкой»

Ковка

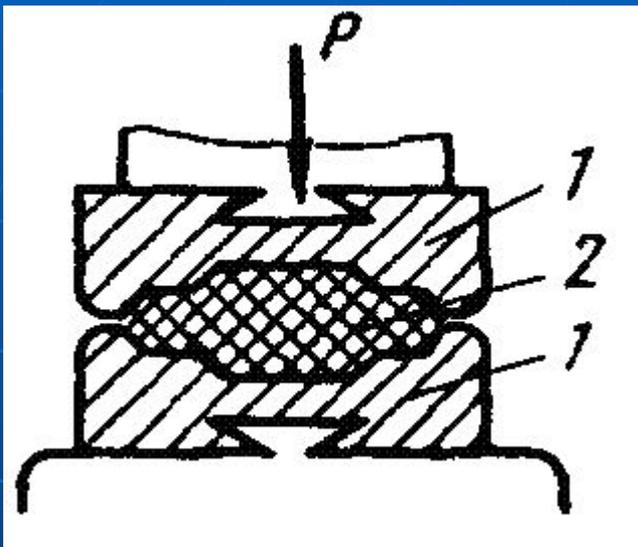


Осадка: - операция свободной ковки, при которой за счет уменьшения размера по высоте увеличивается площадь поперечного сечения заготовки, перпендикулярно деформирующей силе



Протяжка (вытяжка) — операция, в процессе которой длина заготовки (1) увеличивается за счет уменьшения ее поперечных размеров при последовательных по длине обжатиях бойками (2). Применяют плоские, вырезные и закругленные бойки. Заготовка обжимается по участкам и перемещается (подается) в осевом направлении с поворотами вокруг оси. Два последовательных обжатия с поворотом (кантовкой) на 90 град называется переходом.

Объемная штамповка

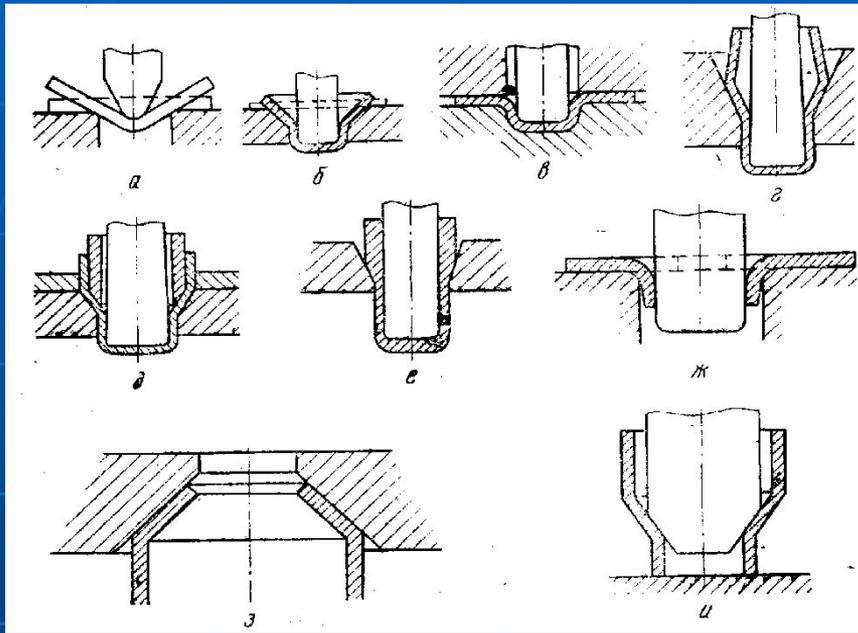


Объёмная штамповка представляет собой разновидностьковки. При объёмной штамповке в качестве инструмента вместо гладких бойков применяют штампы (1). На рабочей поверхности штампов имеются углубления (ручьи, гравюра) соответствующей формы.

При деформировании в штампах металл заготовки (2) заполняет эти углубления, в результате чего заготовка принимает необходимую, обычно более сложную, чем при свободной ковке, форму.

Объёмную штамповку производят как в горячем, так и в холодном состоянии. Сложные поковки получают последовательной штамповкой заготовок в ряде штампов, форма полости которых постепенно приближается к форме готовой поковки. Различают два вида горячей объёмной штамповки: облойную и безоблойную. Они отличаются друг от друга тем, что в случае облойной штамповки часть металла деформируемой заготовки вытесняется в щель между штампами, образуя заусенец (облой), а при безоблойной штамповке весь металл заготовки идет на образование поковки (штамповки). Облой с поковки отрезается затем с помощью специальных штампов. Горячая объёмная штамповка дает возможность получить конфигурацию поковки очень близкую к форме готовой детали. Поэтому более 20 % всех деталей машин изготавливается горячей штамповкой.

Листовая штамповка



Схемы основных операций листовой штамповки:

а — гибка; *б* — свертка без прижима; *в* — свертка с прижимом; *г* — вытяжка без утонения стенки без прижима; *д* — вытяжка без утонения стенки с прижимом; *е* — вытяжка с утонением стенки; *ж* — отбортовка; *з* — обжим; *и* — раздача

Листовая штамповка - процесс получения полых изделий из заготовок листового или полосового материала при помощи штамповки.

Листовой штамповкой изготавливают преимущественно изделия из листов толщиной 0,05—4 мм пластичных металлов и сплавов (медь, алюминий, латунь, малоуглеродистая и нержавеющая сталь и т. п.) без нагрева.

Листовую штамповку с нагревом металла применяют только при штамповке из листов большой толщины (например, днища котлов) и при штамповке изделий из сплавов, имеющих малую пластичность в холодном состоянии (например, магниевые сплавы).

Деформация взрывом

Особое место среди процессов обработки металлов давлением занимают так называемые импульсные методы обработки. Деформация в этих процессах длится тысячные и десятитысячные доли секунды.

К таким процессам относится пластическая деформация с использованием энергии взрыва. Она позволяет создать такие условия, при которых возможна совместная пластическая деформация и соединение (получение композиционных материалов) разнородных материалов, получение которых другими известными способами невозможно. Хотя процесс деформации с использованием энергии взрыва имеет много сложностей и ограничений, во многих случаях он является единственным возможным решением.

Деформация в вакууме и нейтральных средах

При производстве чистых металлов, а также сплавов, содержащих легкоокисляемые элементы, технологический процесс обработки давлением невозможно осуществить на воздухе.

Применение регулируемой атмосферы, в которой осуществляется деформация, существенно изменяет физико-химические и механические свойства металлов, условия взаимодействия инструмента и металла, оказывает влияние на напряжённое состояние и характер деформации металла.

При отсутствии окисной пленки на поверхности деформируемого металла и инструмента значительно возрастает роль молекулярного взаимодействия и создаются благоприятные условия для налипания металла на инструмент.

У металлов, деформированных в вакууме, наблюдаются отличия в структуре и свойствах по сравнению с изделиями, полученными в обычных условиях. В связи с этим результаты, получаемые в обычных условиях, невозможно однозначно переносить на условия деформации в вакууме или нейтральной атмосфере.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Пластичность (С.И. Губкин)- способность твердого тела под действием внешних сил устойчиво (необратимо) изменять свои размеры (получать остаточную, пластическую деформацию) без разрушения деформируемого тела или отдельных его участков.

Пластичность оценивают максимальной величиной пластической деформации, которая может быть достигнута без разрушения деформируемого тела. Пластичность в процессах ОМД зависит от условий деформирования и ее следует рассматривать не как свойство какого-либо материала, а как его состояние.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Пластическая деформация - такая деформация, при которой твердое тело не полностью восстанавливает свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил (**остаточная деформация**).

В отличие от пластической

Упругая деформация – это деформация, при которой изменения формы и размеров тела, вызванные внешними силами, полностью исчезают после прекращения действия этих сил (**обратимая деформация**).

Некоторые общие понятия и определения ТОМД

Процесс пластической деформации осуществляется под СИЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ, которое оказывает инструмент на деформируемый металл.

В классической механике под силами понимают действия тел друг на друга, в результате которого происходит изменение скорости (возникает ускорение), или деформация.

Внешние силы, действующие на тело, вызывают возникновение в нем напряженного состояния. Они бывают двух основных видов: поверхностные и объемные (массовые).

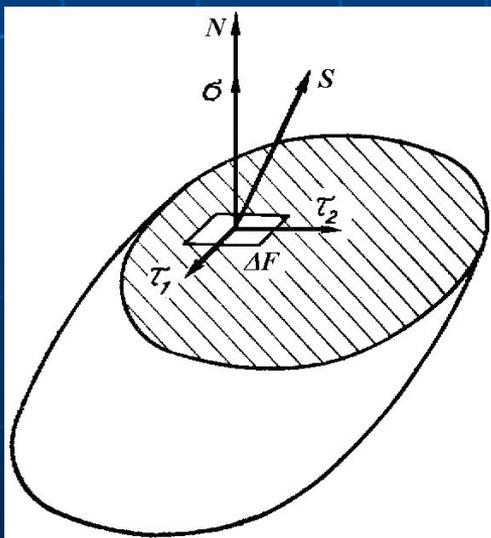
К поверхностным силам относят силы, приложенные к поверхности тела. Они могут быть сосредоточенными и распределенными.

К объемным силам относят силы, действующие на все материальные точки тела и пропорциональные их массам (силы тяжести, силы инерции и др.). В процессах ОМД на деформируемое тело воздействуют и поверхностные и объемные силы. Однако в большинстве случаев величина объемных сил значительно меньше, чем поверхностных и поэтому в дальнейшем действие объемных сил не рассматривается.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Понятие о механических напряжениях

Под действием внешних сил в теле возникают внутренние силы. Если тело находится в равновесии, то внешние и внутренние силы уравновешены. Рассечем тело, находящееся в равновесии на две части и внутренние связи между отдельными частями тела нарушатся. Для восстановления равновесия необходимо заменить действие отсеченной части силами, распределенными по плоскости сечения. По отношению к оставшейся части тела это будут внешние силы, но по отношению ко всему телу – внутренние силы.



Предел отношения внутреннего усилия ΔP , действующего на какую-либо элементарную площадку, выделенную в рассматриваемой точке тела, к ее площади ΔF при неограниченном уменьшении последней называется *напряжением S*:

$$S = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF}$$

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Понятие о механических напряжениях

Напряжение представляет собой вектор, направление которого совпадает с направлением действующей силы. Размерность напряжения – это размерность силы, отнесенная к размерности площади: $[1 \text{ Н}]/[1 \text{ м}^2] = 1 \text{ Па (Паскаль)}$. Через рассматриваемую точку можно провести множество плоскостей, в каждой из которых можно выделить элементарную площадку ΔF и определить действующие на этой площадке напряжения.

Вектор напряжения S по правилу параллелепипеда можно разложить на три составляющие, одна из которых направлена по нормали N к выделенной площадке ΔF и называется нормальным напряжением σ , а две другие взаимно перпендикулярные составляющие расположены в плоскости выделенной площадки и называются касательными (тангенциальными) напряжениями τ_1 и τ_2 :

$$S = \sqrt{\sigma^2 + \tau_1^2 + \tau_2^2}$$

Нормальные напряжения - сжимающие (отрицательные) – линейные размеры тела под действия этих напряжений стремятся уменьшиться или растягивающие (положительные) - линейные размеры тела под -стремятся увеличиться.

Касательные напряжения стремятся сдвинуть частицы тела относительно друг друга в плоскости их действия, поэтому их иногда называют напряжениями сдвига. Знаки касательных напряжений зависят от выбора направлений координатных осей.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Механические свойства металлических материалов

Механические свойства характеризуют поведение металлических изделий под действием механических напряжений. Такие напряжения возникают при их эксплуатации, а также в процессе изготовления (при литье, обработке давлением, сварке и т. п.). Поэтому механические свойства — это важнейшие характеристики металлов и сплавов и во многих случаях они являются одними из основных показателей качества металлопродукции.

Механические свойства определяют с помощью механических испытаний специально изготовленных образцов.

Механические свойства не являются такими константами материала, как физические. Они зависят не только от химического состава и структуры материала, но и от условий испытаний: формы и размеров образца, скорости нагружения и других факторов. Форма и размеры образцов для определения механических свойств, условия испытаний регламентируются государственными стандартами (ГОСТами).

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Механические свойства металлических материалов

Механические свойства принято подразделять на три группы:

1. Прочностные;
2. Пластические;
3. Вязкостные.

К прочностным свойствам относят следующие характеристики:

*предел текучести (σ_T , МПа), условный предел текучести ($\sigma_{0.2}$, МПа), временное сопротивление (σ_B , МПа), твердость, определяемая различными методами (по Бринеллю – в единицах *НВ*, по Роквеллу – в единицах *HRC*, *HRB*, *HRA*, по Виккерсу – в единицах *HV* и др.)*

Пластическими характеристиками являются относительное удлинение после разрыва (δ , %) и относительное сужение после разрыва (ψ , %).

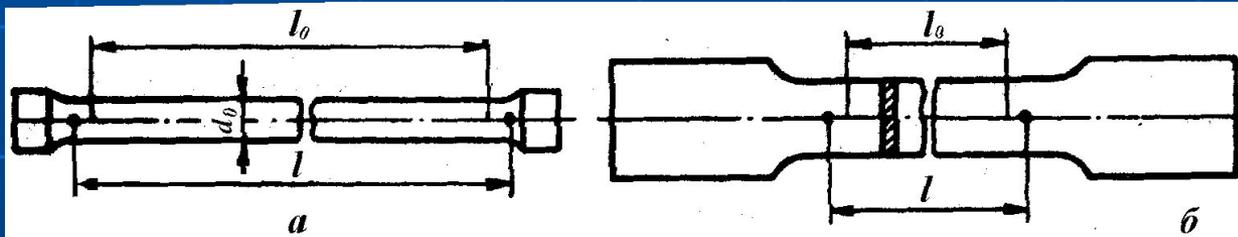
К вязкостным характеристикам относят ударную вязкость (KCU , KCV , KCT , Дж/см²).

Прочностные характеристики - предел текучести, условный предел текучести, временное сопротивление, а также пластические – относительное удлинение и относительное сужение определяются по результатам испытаний на одноосное растяжение (ГОСТ 1497).

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Механические свойства металлических материалов

Прочностные характеристики - предел текучести, условный предел текучести, временное сопротивление, а также пластические – относительное удлинение и относительное сужение определяются по результатам **испытаний на одноосное растяжение**. В соответствии с требованиями ГОСТ 1497 используют цилиндрические и плоские образцы:



d_0 – диаметр рабочей части; l – длина рабочей части; l_0 – начальная расчетная длина ($l_0 < l$).

Размеры образца не влияют на результат определения относительного удлинения при $l_0/F_0 = const$

Образцы бывают: десятикратные

пятикратные

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$$

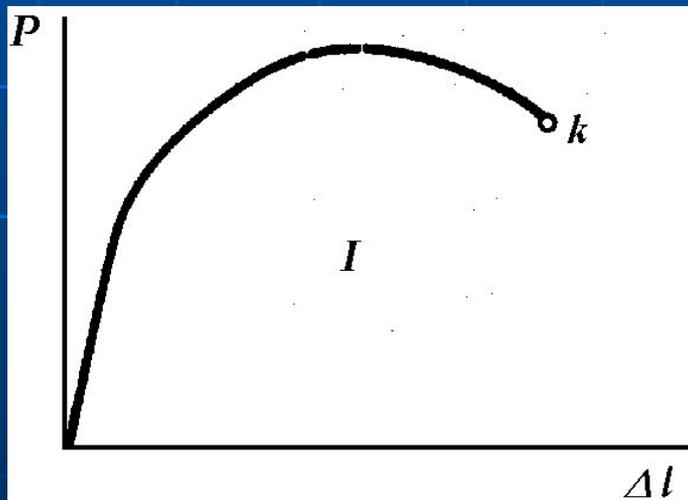
$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$$

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

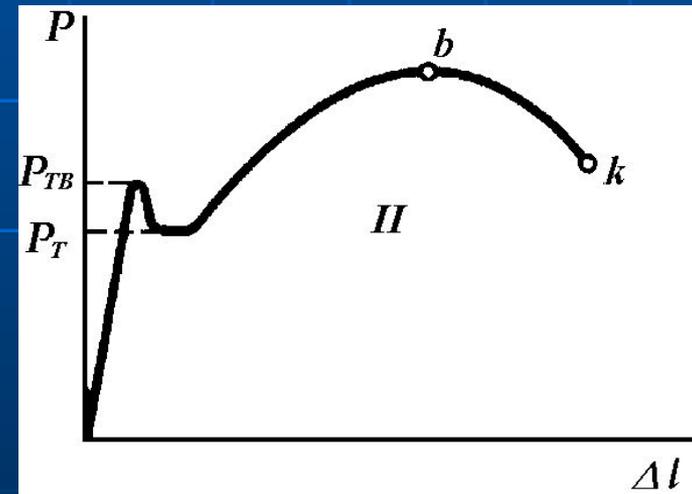
Механические свойства металлических материалов

В результате испытаний получают первичные диаграммы зависимости растягивающей осевой силы от абсолютного удлинения образца ($P - \Delta l$ – кривые растяжения).

Типы кривых растяжения:



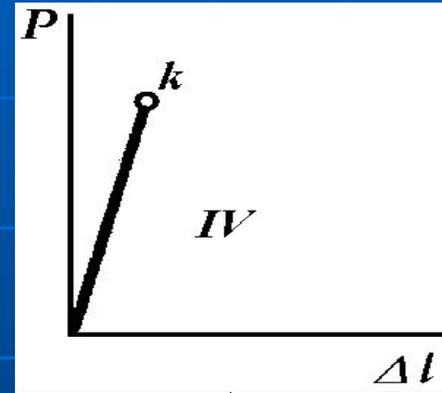
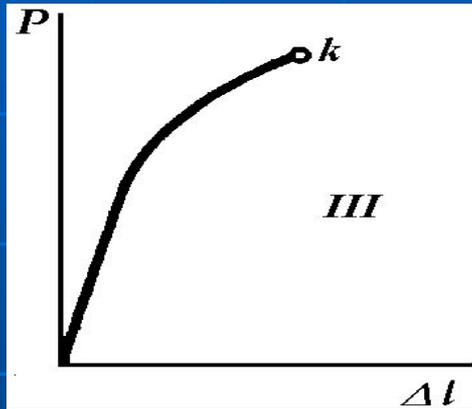
Тип I – образование ярко выраженной шейки перед разрывом



Тип II – наличие *площадки и зуба* (или только площадки) *текучести*

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Механические свойства металлических материалов



Тун III – равномерное удлинение без образования шейки до разрушения

Тун IV – хрупкое разрушение

По **определенным точкам на кривой растяжения** рассчитывают стандартные прочностные характеристики испытуемого материала, а также определяют показатели пластичности.

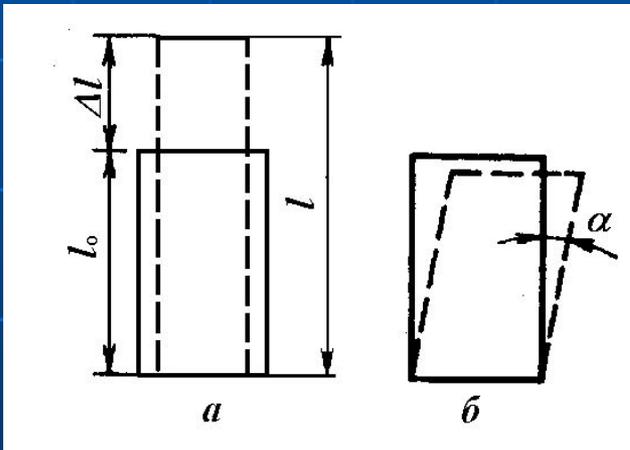
Прочностные характеристики выражают через условные растягивающие напряжения $\sigma = P/F_0$ [МПа]. Напряжения условны в том смысле, что нагрузку относят не к истинной площади поперечного сечения образца в текущий момент, а к начальной площади поперечного сечения (F_0). Кривые $P - \Delta l$ легко перестраиваются в кривые $\sigma - \Delta l$ и $\sigma - \varepsilon$ (где ε – относительная деформация растяжения).

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Анализ диаграмм растяжения

Для любого типа кривых растяжения характерным является наличие участка с линейной зависимостью нагрузки от деформации (напряжения от относительной деформации). Это участок упругой деформации.

Упругая деформация



При приложении к твердому телу механической нагрузки вначале всегда происходит упругая деформация - обратимые изменения формы и размеров, исчезающие после снятия нагрузки. Согласно закону Гука упругая деформация линейно связана с напряжением. Для продольного растяжения или сжатия стержня закон Гука имеет следующий вид: $\sigma = E\varepsilon$

где E — модуль Юнга (модуль нормальной упругости, модуль упругости I рода). Величина модуля Юнга при растяжении и сжатии одна и та же. При упругой деформации сдвига: $\tau = G\gamma$ где G — модуль сдвига. Так как ε и γ — безразмерные величины, то E и G имеют размерность напряжения.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Упругая деформация

Упругая деформация на атомном уровне состоит в обратимом изменении расстояния между соседними атомами под действием приложенной к телу нагрузки. Модули упругости E и G характеризуют сопротивляемость материала упругой деформации: чем больше модуль упругости, тем меньше деформация при заданной нагрузке.

Модули упругости возрастают с увеличением сил межатомной связи, препятствующих смещениям атомов из положений равновесия. Между модулем упругости и температурой плавления металлов с кубической решеткой имеется корреляция. Обе эти характеристики возрастают с увеличением энергии межатомной связи:

| Металл | <i>Pb</i> | <i>Al</i> | <i>Cu</i> | <i>Fe</i> | <i>Mo</i> | <i>W</i> | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------|
| $T_{пл}, ^\circ C$ | | 327 | 660 | 1083 | 1539 | 2625 | 3410 |
| $E, ГПа$ | 16 | 70 | 130 | 210 | 325 | 400 | |

В кристалле разные кристаллографические направления различаются межатомными расстояниями, и модули упругости зависят от направления, т. е. в отношении упругих характеристик кристалл анизотропен. Например, у монокристаллов α -железа в направлении $\langle 111 \rangle$ $E = 290$ ГПа, а в направлении $\langle 100 \rangle$ $E = 132$ ГПа.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Упругая деформация

Модули упругости — *структурно малочувствительные* свойства. Они практически не зависят от размера зерна. У разных промышленных сплавов на одной основе модули упругости различаются обычно не более чем на 10% (у технически чистого алюминия $E = 70$ ГПа, а у алюминиевого сплава дур-алюмина марки Д16, подвергнутого термической обработке на максимальную прочность, $E = 72$ ГПа).

Коэффициент (число) Пуассона

При упругой деформации под действием силы, в перпендикулярном направлении возникает упругая деформация другого знака (при растяжении – в перпендикулярном направлении возникает упругая деформация сжатия). Коэффициент Пуассона – отношение упругой деформации сжатия к упругой деформации растяжения:

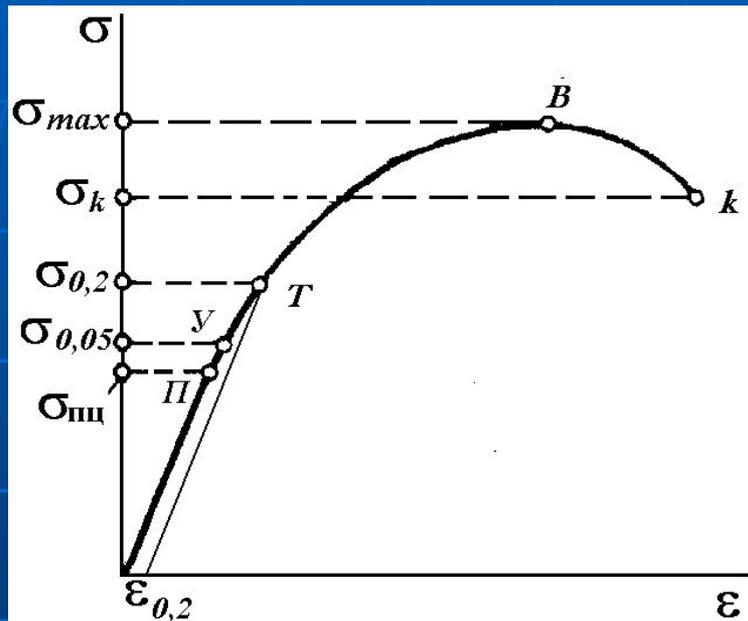
$$\nu = \frac{\varepsilon_{сж}}{\varepsilon_{р}}$$

Если при упругой деформации выполняется условие постоянства объема, то $\nu = 0,5$, однако у большинства металлов $\nu = 0,28 - 0,45$.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Анализ диаграмм растяжения



Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}}/F_0$ – максимальное напряжение, при котором еще выполняется закон Гука;

Предел упругости $\sigma_{0,05} = P_{0,05}/F_0$ – напряжение, при котором остаточное удлинение составляет 0,05%;

Предел текучести $\sigma_T = P_T/F_0$ – напряжение, соответствующее усилию площадки текучести (физический предел текучести);

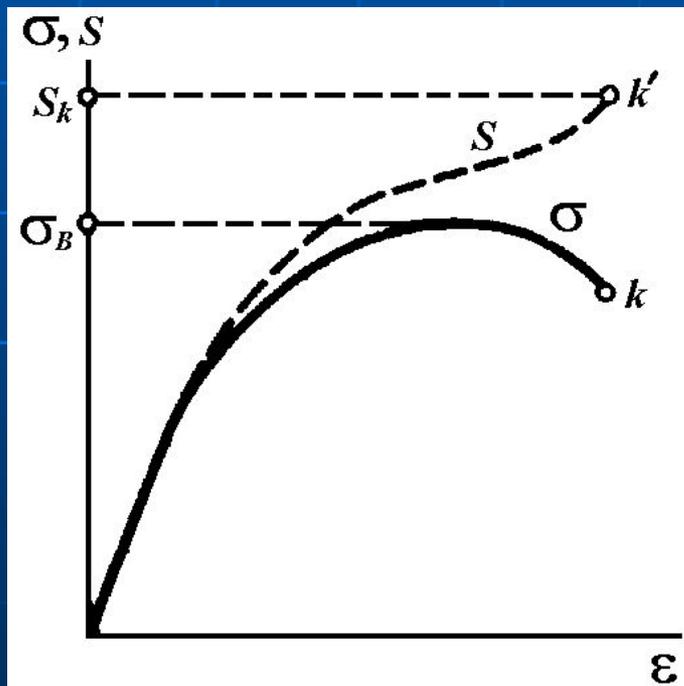
Условный предел текучести $\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0$ – напряжение, при котором остаточное удлинение составляет 0,2%;

Временное сопротивление $\sigma_B = P_{\max}/F_0$ – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке на кривой растяжения. Точка B – окончание равномерной пластической деформации и начало образования шейки.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Анализ диаграмм растяжения

Временное сопротивление часто называют пределом прочности, но характеристикой предельного состояния перед разрушением, оно является не всегда. В случае образования шейки разрушение наступает не при максимальной нагрузке, а в точке k .



Точке k соответствует меньшая нагрузка P_k . Характеристика предельного состояния - истинное сопротивление разрыву $S_k = P_k/F_k$, где F_k — поперечное сечение образца в месте разрыва, т.е. величина S_k - истинное напряжение при разрушении.

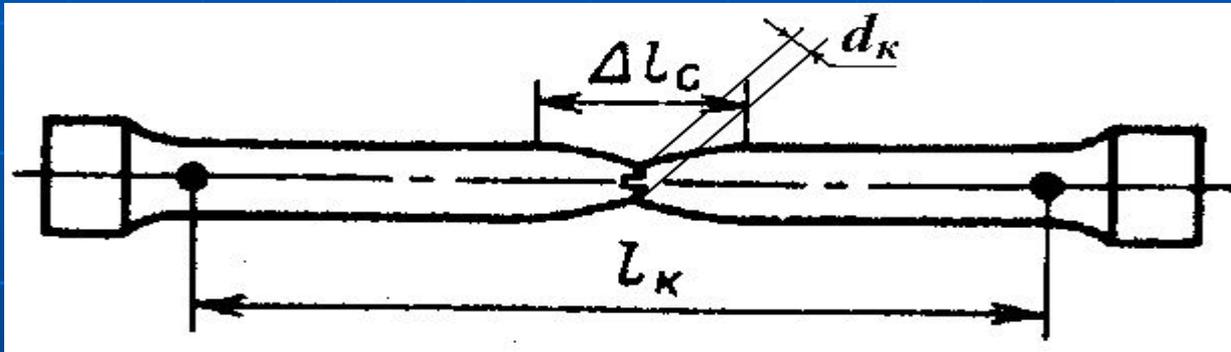
$S - \epsilon$ зависимость истинных напряжений от относительного удлинения. Истинное напряжение интенсивно растет при локализации деформации в виде шейки.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

обратботки металлов давлением

Анализ диаграмм растяжения

Характеристики пластичности



Относительное удлинение – отношение приращения расчетной длины разорванного образца к ее первоначальной длине (δ_{10} , δ_5 , $\delta_{2,5}$)

$$\delta = \frac{(l_k - l_0)}{l_0} 100\%$$

Относительное сужение – отношение уменьшения площади поперечного сечения в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k)}{F_0} 100\%$$

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Испытания по определению твердости

Для определения твердости применяют статическое вдавливание по нормали к поверхности испытуемого образца под заданной нагрузкой очень твердого наконечника – *индентора*. Число твердости - способность материалов противостоять пластической деформации, возникающей при вдавливании индентора. Испытания на твердость - самые распространенные из всех механических испытаний при выполнении исследований, так и при контроле качества продукции (простота, высокая производительность). Основной недостаток – невозможность использования чисел твердости в качестве прочностной характеристики материала в расчетах процессов ОМД.

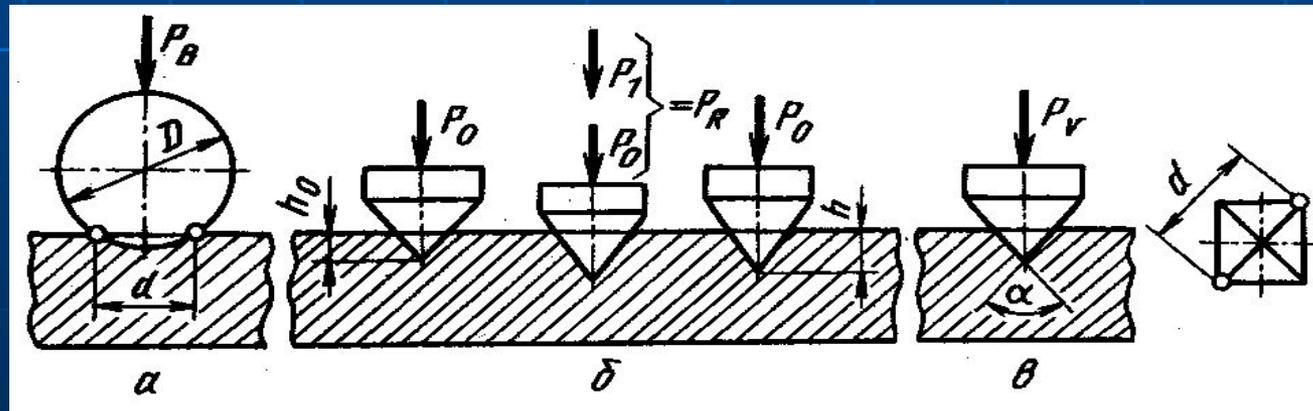


Схема измерения твердости металлов и сплавов по Бринеллю (а), Роквеллу (б), Виккерсу (в)

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Испытания по определению твердости

Определение твердости по Бринеллю.

Шарик из закаленной стали (индентор) диаметром D вдавливаются в образец под действием нагрузки P , после снятия которой измеряют диаметр отпечатка d . Число твердости по Бринеллю HB равно отношению нагрузки P (кгс) к площади шаровой поверхности отпечатка A (мм²): $HB = P/A$. Таким образом твердость по Бринеллю имеет размерность напряжения в старой системе единиц кгс/мм². В целях преемственности эта размерность не заменена на МПа, тем более, что число твердости по Бринеллю используется без размерности: твердость по Бринеллю 185 кгс/мм² записывается как 185 HB (185 единиц Бринелля).

Определение твердости по Роквеллу.

Индентор - алмазный конус или шарик из закаленной стали. Величина твердости оценивается по глубине вдавливания индентора. Индентор поджимают к поверхности испытуемого образца предварительной нагрузкой, стрелка индикатора устанавливается на нуль, прикладывают основную нагрузку, разную при использовании разных инденторов. После снятия нагрузки индикатор глубины вдавливания показывает число твердости по Роквеллу: HRC (шкала C , алмазный конус); HRB (шкала B , стальной шарик).

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Испытания по определению твердости

Определение твердости по Роквеллу.

По шкале ***V*** измеряют твердость сравнительно мягких образцов, а по шкале ***C*** - более твердых.

Важным преимуществом метода Роквелла является то, что не требуется измерять отпечаток и находить по таблицам число твердости. Это число определяется сразу после снятия основной нагрузки по показателю индикатора на шкале прибора. Недостаток метода – отсутствие единой шкалы твердости.

Определение твердости по Виккерсу.

Индентором служит правильная четырехгранная алмазная пирамида. Число твердости по Виккерсу ***HV*** равно отношению нагрузки ***P*** [кгс], к площади поверхности пирамидального отпечатка [мм²], то есть размерность твердости по Виккерсу - ***кгс/мм²***, которая также не указывается у числа твердости.

Расчеты числа твердости по Виккерсу не производят, а по измеренным значениям диагоналей отпечатка при выбранной нагрузке в таблице находят значение ***HV***.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Определение ударной вязкости

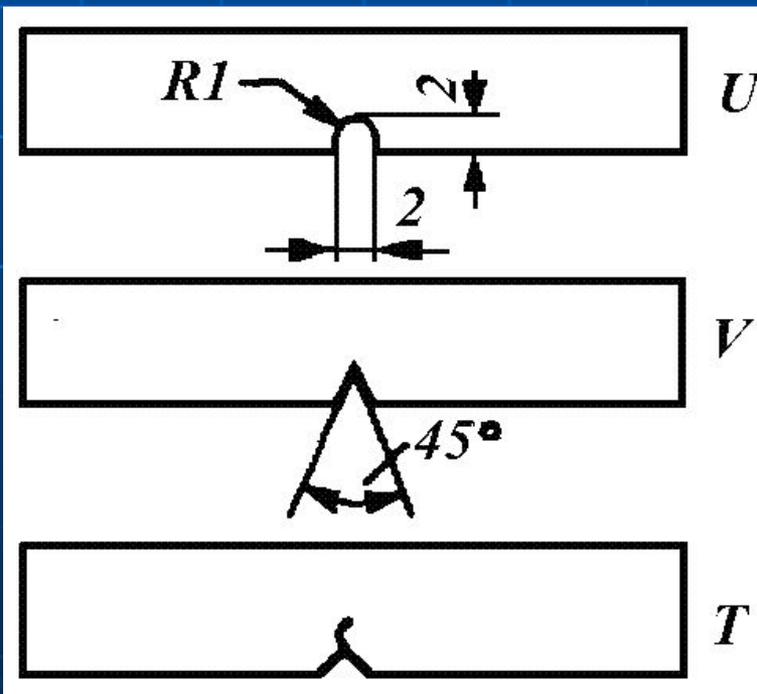
Определение ударной вязкости

Вязкостные свойства характеризуют способность материала выдерживать **ударные нагрузки**. Для оценки этой способности проводят испытания на **ударный изгиб**. Образцы для таких испытаний имеют форму стержня с нанесенным посередине надрезом – концентратором напряжений.

Используют три типа образцов: ***U***, ***V*** и ***T***. Испытания проводят на маятниковом копре при ударе маятника со стороны, противоположной концентратору напряжений.

Ударная вязкость (КС) – это работа удара (***K***), отнесенная к исходной площади поперечного сечения образцов месте концентратора: **$КС = K/F_0$** [Дж/см²]. В зависимости от типа концентратора напряжений встречаются обозначения ударной вязкости: ***KCU***, ***KCV*** и ***KCT***. ***КС*** характеризует сочетание прочностных и пластических свойств, склонность материалов к хрупкому разрушению.

Испытания на ударную вязкость проводят при различных (в том числе и отрицательных) температурах.



Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Условие постоянства объема и величины, характеризующие пластическую деформацию

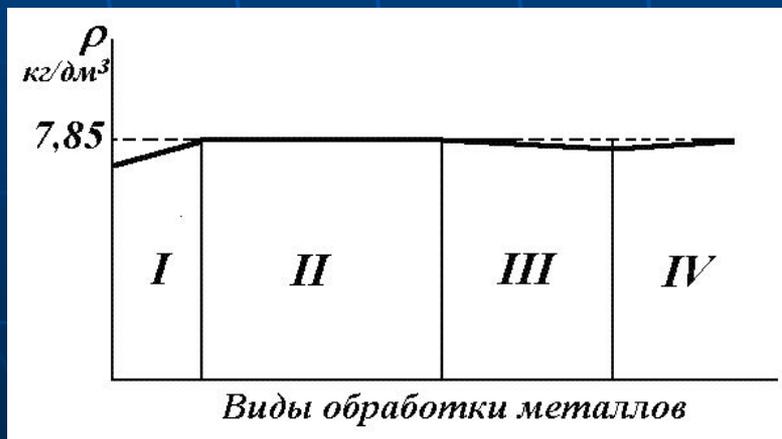
В большинстве случаев ОМД предполагают, что объем металла в процессе пластической деформации не изменяется - выполняется условие постоянства объема. Однако это условие не является безусловным. Представим массу деформируемого тела (а она в процессе деформации не изменяется) в виде:

$$M = \rho V,$$

где ρ - плотность деформируемого материала (г/см³, кг/дм³, т/м³), V – объем деформируемого тела. Тогда плотность и объем связаны обратной зависимостью:

$$\rho = M / V.$$

Плотность деформируемого материала на различных стадия обработки металлов давлением не является постоянной



Изменение плотности деформируемого металла (углеродистой стали) на различных стадиях ОМД: **I** – горячая обработка давлением литого металла, **II** – горячая обработка давлением деформированного металла, **III** – холодная обработка металлов давлением, **IV** – смягчающая термическая обработка металлов

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Условие постоянства объема и величины, характеризующие пластическую деформацию

1. При деформации литого металла (слитки, непрерывно литые заготовки) вследствие ликвидации несовершенств литой структуры (пустот, усадочных раковины, рыхлости, газовых пузырей и др.) происходит некоторое повышение плотности (участок *I*), которое при прокатке на блюминге слитков из кипящей стали может достигать 12 %. Для других случаев это увеличение несколько меньше, но оно обязательно имеет место. На этих стадиях ОМД объем деформируемого тела уменьшается пропорционально увеличению плотности. Это явление имеет место лишь на первых стадиях деформации литого металла и плотность, а соответственно и объем, быстро достигают постоянного значения.
2. При дальнейшей горячей деформации плотность (следовательно и объем) практически не изменяется (участок *II*).
3. При холодной ОМД деформированного в горячем состоянии металла (участок *III*) плотность несколько снижается в результате значительного увеличения числа дефектов кристаллической решетки (в первую очередь дислокаций), а объем металла несколько увеличивается. Точными опытами установлено, что при степени деформации ~ 80 % уменьшение плотности при деформации стали составляет 0,25 – 0,35 %, а при деформации меди и латуни со степенью деформации ~ 60 % изменение плотности и объема достигает 1 – 2 %.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Условие постоянства объема и величины, характеризующие пластическую деформацию

4. В большинстве случаев после холодной ОМД технологией предусматривается смягчающая термическая обработка (отжиг). При этом происходит уменьшение искажения кристаллической решетки холоднодеформированного металла, снижение числа дефектов кристаллической решетки. В результате плотность и объем принимают значения, которые металл имел до начала холодной деформации (участок *IV*).

Таким образом, исключая начальную стадию деформации литого металла и пренебрегая незначительным изменением плотности и объема в процессах холодной деформации, можно считать, что объем металла в процессах обработки давлением не изменяется, то есть выполняется условие постоянства объема.

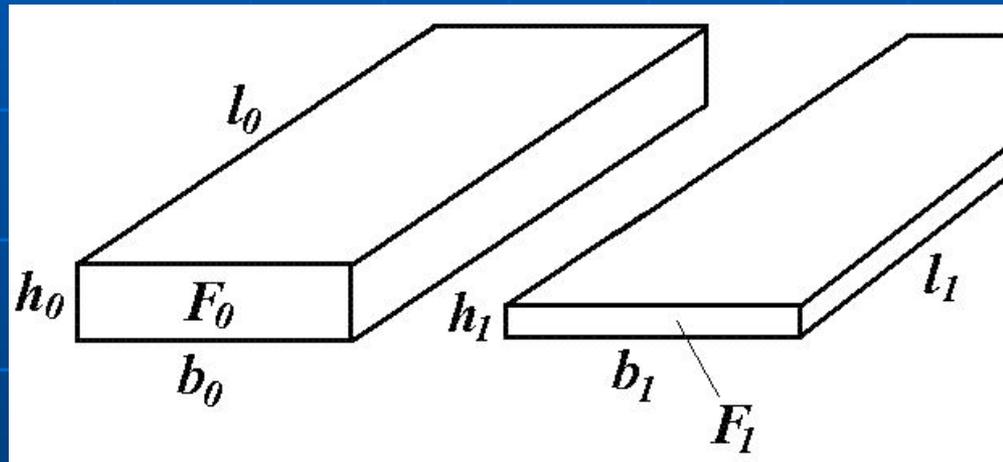
Величины, характеризующие деформацию в процессах ОМД

Для характеристики значений пластической деформации используют различные величины, которые получены из условия постоянства объема в процессе обработки давлением.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Величины, характеризующие деформацию в процессах ОМД

Пусть исходный образец, имеющий форму пластины до деформации, сохранил форму после деформации, но при этом изменились его размеры



Из условия постоянства объема следует:

$$V_0 = V_1 \Rightarrow h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1$$

или

$$(h_1 b_1 l_1) / (h_0 b_0 l_0) = 1$$

Первая группа величин, характеризующих пластическую деформацию – это *коэффициенты деформации*

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Величины, характеризующие деформацию в процессах ОМД

Вторая группа – это абсолютные величины, широко используемые при выполнении технологических расчетов:

$\Delta h = h_0 - h_1$ – *абсолютное обжатие*, характеризует в абсолютных единицах (м, мм и др.) изменение размера по высоте;

$\Delta b = b_1 - b_0$ – *абсолютное уширение* - изменение размера по ширине;

$\Delta l = l_1 - l_0$ - *абсолютное удлинение* - изменение размера по длине.

Для сравнительной оценки величины деформации в различных условиях (различные размеры исходных заготовок, готовых изделий и др.) используются величины относительных деформаций:

$\varepsilon_h = (h_0 - h_1)/h_0$ – *относительная высотная деформация*, или *степень деформации*;

$\varepsilon_b = (b_1 - b_0)/b_0$ – *относительная поперечная деформация*;

$\varepsilon_l = (l_1 - l_0)/l_0$ – *относительная продольная деформация*.

Иногда для оценки величин относительной деформации используют отношения абсолютных деформаций не к исходному размеру, а к конечному:

$\varepsilon_h^* = (h_0 - h_1)/h_1$; $\varepsilon_b^* = (b_1 - b_0)/b_1$; $\varepsilon_l^* = (l_1 - l_0)/l_1$.

Относительные деформации первой группы (отношение абсолютной деформации к исходному размеру) используются значительно чаще, чем второй.