



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

# Материаловедение

## Лекция 6: Обработка металлов давлением

**Семенова Елена**  
Инженер-проектировщик 1 категории

**31.10.2024**

# Обработка металлов давлением, общие сведения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Обработка металлов давлением** – это процесс, при котором металлу придается нужная форма и размер под силовым воздействием **без снятия стружки и нарушения сплошности**. При обработке давлением заготовки простой формы преобразуются в детали более сложной формы того же объема. Процесс отличается большой экономичностью и производительностью и относится к малоотходной технологии

Обработка давлением основана на пластичности металлов, т.е. на их способности **изменять свою форму без разрушения под действием приложенных сил (давления)**. Пластические свойства металлов позволяют сохранить полученную форму и размер, даже после того, как воздействие давления прекращается. Применима к металлам, обладающим достаточной пластичностью

При пластической деформации изменяется **не только форма, но и свойства** деформируемого металла

Деформация пластичных металлов, состоит из упругой и пластической составляющих. Упругая исчезает при снятии нагрузки, пластическая деформация приводит к остаточному изменению формы и размеров заготовки. Для пластической (остаточной) деформации металл необходимо подвергнуть **напряжению, которое больше предела упругости и меньше предела прочности, чтобы не получилось трещин**

Пластичность стали не всегда достаточна в холодном состоянии, поэтому используют подогрев до определенной температуры при которой пластичность становится достаточной. Некоторые металлы и сплавы, например, **чугун, не приобретают способность к деформированию и при нагреве**

На практике обработке давлением в холодном состоянии подвергают только тонкие листовые и полосовые заготовки из мягкой стали и из цветных металлов и их сплавов

При деформировании в **холодном состоянии** механические и физико-химические свойства металла непрерывно изменяются: твердость, прочность и хрупкость увеличиваются, а пластичность, вязкость, электропроводность и коррозионная стойкость – уменьшаются. Это изменение свойств называют **наклепом**

# Обработка металлов давлением, общие сведения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Горячая обработка металлов давлением** производится при температурах, значительно превышающих температуру их рекристаллизации и наклепа. При этом температура нагрева металла выбирается такой, чтобы не возник, пережог либо перегрев.

При этом микроструктура металла после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения. Зерна в металле получаются тем мельче, чем больше степень деформации.

При горячей обработке происходят одновременно два процесса: **измельчение зерен и рекристаллизация**. При обжатии зерна дробятся, затем из обломков растут новые до тех пор, пока не будут раздроблены повторным обжатием и т.д.

В процессе горячей обработки давлением:

- металл уплотняется
- уменьшаются или полностью уничтожаются пороки литого металла
- в результате диффузии при высокой температуре происходит частичное выравнивание химического состава металлы
- при правильном температурном режиме получается мелкозернистая структура, подобная структуре после отжига.

Область температуры между началом и окончанием, в которой металл или сплав обладает наилучшей пластичностью, наименьшей склонностью к росту зерна и минимальным сопротивлением деформированию, называют **температурным интервалом горячей обработки давлением**



При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки

**Ковкость** – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь

Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность

**Пластичность** – способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает

На пластичность влияют многие факторы:

- состав и структура деформируемого металла (количество фаз, тип кристаллической решетки)
- характер напряженного состояния при деформации
- неравномерность деформации
- скорость деформации, температура деформации и др.

Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала и строения металла. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности

**Структура материала.** Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. **Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные.** Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. **Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых.** Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или кованой заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты



**Характер напряженного состояния.** Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

**Неравномерность деформации.** Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

**Скорость 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.

**Влияние температуры** на пластичность неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными. Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии. Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры. Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности. Техническое железо в интервале 800...1000 °С характеризуется понижением пластических свойств. При температурах, близких к температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

# Обработка металлов давлением, общие сведения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, титановый сплав ВТ8 –  $(1100 \div 900)^\circ\text{C}$ ; сталь 45 –  $(1200 \div 750)^\circ\text{C}$

Температуру начала и окончания горячего деформирования стали определяют по диаграмме состояния железо–углерод. Температура начала горячей обработки давлением должна быть на  $100 \div 200^\circ\text{C}$  ниже температуры плавления стали. Температура окончания деформирования – на  $50 \div 100^\circ\text{C}$  выше температуры рекристаллизации.

Практически температура окончания деформирования стали определяется по эмпирической формуле:

$T_{\text{оконч}} = 100 (9,1 - 1,1 \cdot C)^\circ\text{C}$ , где  $C$  – содержание углерода в стали в %.

Так, прокатка углеродистых сталей начинается при  $(1200 \div 1150)^\circ\text{C}$  и заканчивается при  $(950 \div 900)^\circ\text{C}$ .

**Неполная горячая деформация** характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформированными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее **вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.**

Также иногда применяют комбинации 2-их или нескольких методов обработки металлов давлением одновременно. Это позволяет получать изделия сложных форм и размеров и расширяет возможности их применения.



**По назначению** процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

- для получения **изделий постоянного поперечного сечения по длине** (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;
- для получения деталей или заготовок, **имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей**, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

**По виду получаемой продукции** процессы обработки давлением группируют следующим образом:

- профили (изготавливают прокаткой, прессованием и волочением);
- поковки (получают ковкой и объемной штамповкой);
- плоские и пространственные изделия, у которых толщина существенно меньше двух других размеров (изготавливают листовой штамповкой).

Пластическое деформирование при обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом

# Способы обработки металлов давлением



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

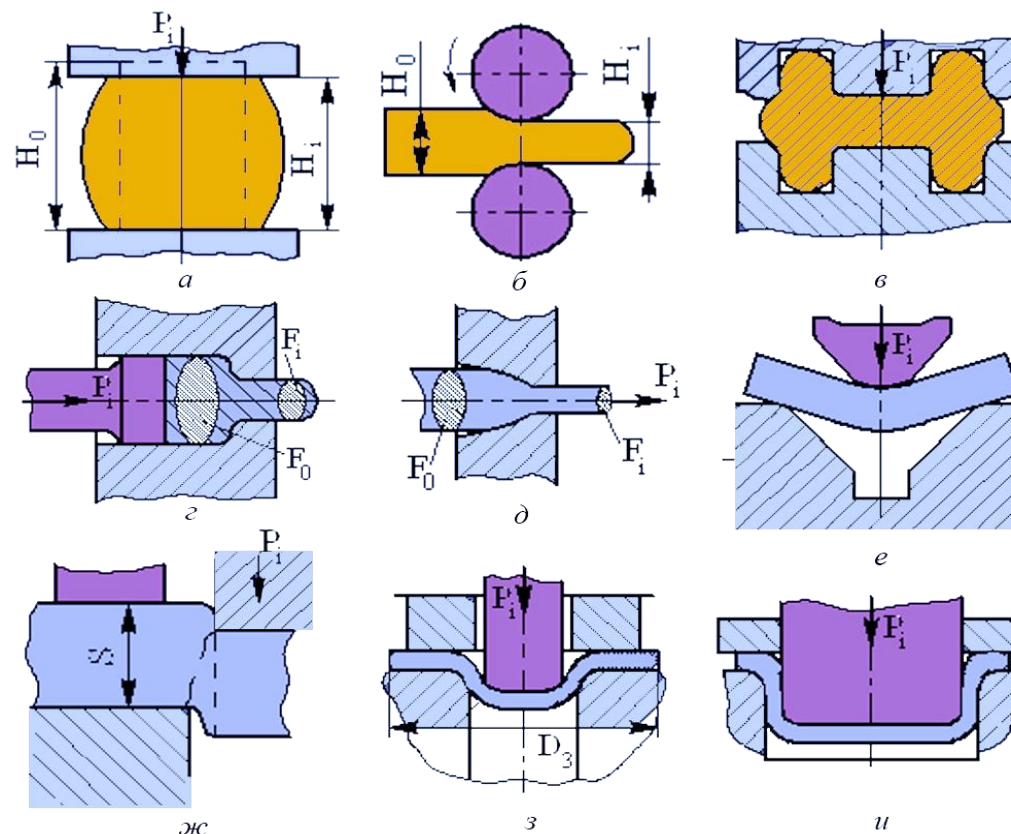
|                                      | Прокатка                                                                                                                                      | Прессование                                                                                    | Волочение                                                                                                                   | Ковка                                                                                       | Штамповка                                                                                                       |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходное сырье</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• слитки разной формы</li> <li>• плиты</li> <li>• кованые заготовки</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• слитки</li> <li>• прокат круглого сечения</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• прутки</li> <li>• сортовой прокат</li> <li>• проволока</li> <li>• трубы</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• слитки</li> <li>• поковки</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• листы</li> <li>• кованые заготовки</li> <li>• мелкие слитки</li> </ul> |
| <b>Температурный режим обработки</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• в горячем</li> <li>• в холодном состоянии</li> </ul>                                                 | в горячем состоянии                                                                            | в холодном состоянии                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• в горячем</li> <li>• холодном состоянии</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• в горячем</li> <li>• в холодном состоянии</li> </ul>                   |
| <b>Готовый продукт</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• сортовой прокат</li> <li>• листовой прокат</li> <li>• трубы</li> <li>• спец. виды проката</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• прутки</li> <li>• профили</li> <li>• трубы</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• проволока</li> <li>• сортовой прокат</li> <li>• прутки</li> <li>• трубы</li> </ul> | поковки                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• заготовки деталей</li> <li>• готовые детали</li> </ul>                 |

# Общие схемы пластического деформирования объемной заготовки



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

- сжатие между плоскостями инструмента (а) – **ковка**;
- ротационное обжатие вращающимися валками (б) – **прокатка**;
- затекание металла в полость инструмента (в) – **штамповка**;
- выдавливание металла из полости инструмента (г) – **прессование**;
- вытягивание металла из полости инструмента (д) – **волочение**;
- **гибка заготовки** (е);
- **отделение части заготовки** (ж);
- изменение формы заготовки в результате растяжения отдельных ее участков и уменьшения толщины (з);
- превращение плоской листовой заготовки в полые пространственные изделия при уменьшении ее поперечных размеров (и)





**Ковка металлов** – один из наиболее древних видов обработки металлов давлением, заключающийся в изменении формы и размеров нагретой заготовки путем **последовательного воздействия универсальным инструментом** на отдельные участки заготовки. Долгое время оставалась единственным способом обработки металлов давлением.

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением пресса, т.е. под динамическим или статическим давлением.

Холодной ковке поддаются драгоценные металлы – золото, серебро, а также медь.

Ковку осуществляют на молотах и прессах. Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента. В качестве инструмента используют бойки, один из которых крепится к подвижному органу кузнечной машины, а второй закрепляется на столе пресса или молота. Верхний боек совершает возвратно-поступательное движение.

Заготовки, получаемые ковкой, называются **поковками**.

Поковки могут иметь самую разнообразную форму и массу, от нескольких граммов до 350 т и более. Большие поковки получают непосредственно из слитков, поковки средних и малых размеров - из прокатных заготовок.

Существует два способаковки - свободнаяковка и штамповка.

# Свободная ковка



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

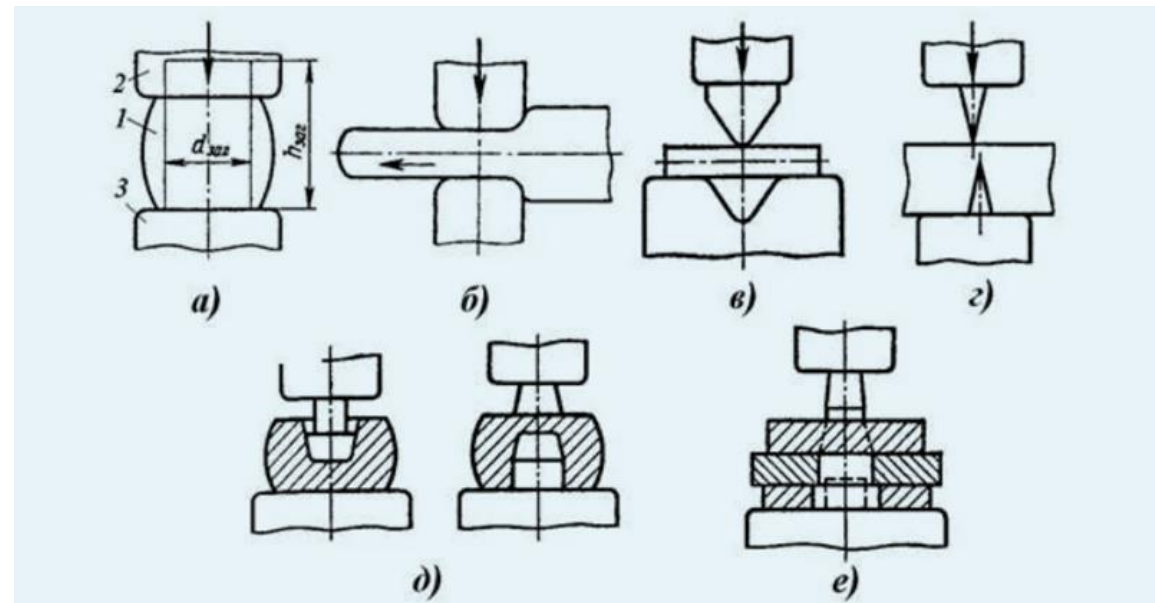
При свободной ковке течение металла ограничено частично. При свободной ковке ударом заготовку, которую нужно отковать, кладут, не закрепляя, на неподвижную подставку - наковальню, над которой вниз и вверх ходит боек. Быстро опуская и поднимая молот, по предварительно нагретому металлу наносят удары. При этом металл течет. Ширина и длина заготовки увеличивается, а толщина уменьшается.

После того как заготовку обожмут, с одной стороны, ее поворачивают на  $90^\circ$  и вновь куют. Такие операции совершаются до тех пор, пока металл не примет нужной формы, поковка готова.

Приблизительно так же протекает процесс свободнойковки на прессах, только на них заготовку обрабатывают не ударом, а прессованием.

Свободной ковкой на молотах и прессах можно обрабатывать заготовки любой массы: и самые маленькие, и очень крупные, до 200 т.

Однако таким способом невозможно изготовить детали точных размеров и форм. Поковки придется потом обрабатывать на станках, превращая много металла в стружку.



Схемы основных операцийковки: а – осадка; б – протяжка; в – гибка; г – отрубка; д – двухсторонняя прошивка; е – сквозная прошивка

# Прокатка



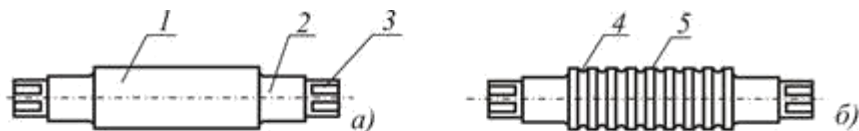
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

**Прокатный стан** – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.). Основными элементами стана являются вращающиеся валки, которые обжимают заготовку. В зависимости от выпускаемых изделий различают **трубопрокатные**, **листопрокатные**, **проволочные**, а также многие другие виды прокатных станов.

Инструмента для прокатки – валки прокатные

В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть **гладкими** для прокатки листов, лент и **калиброванными (ручьевыми)** для получения сортового проката.



**Ручей** – профиль на боковой поверхности валка.

Промежутки между ручьями называются **буртами**.

Совокупность двух ручьев образует полость, называемую **калибром**, каждая пара валков образует несколько калибров.

Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров, называется **калибровкой**

*Прокатные валки: а – гладкий; б – калиброванный  
Рабочая часть – бочка 1, шейка 2 и торец 3,  
4 – полость; 5 – бурт*



Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованые заготовки.

Сущность процесса: заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину. **Форма поперечного сечения называется профилем.**

Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь.

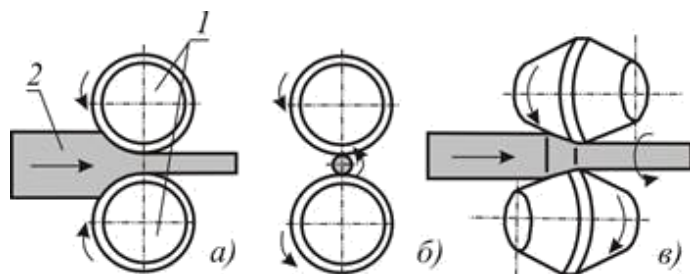
Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена).

Продукция прокатного производства подразделяется в зависимости от формы поперечного сечения. Форма поперечного сечения проката называется профилем. Совокупность различных профилей разных размеров называется сортаментом.

Сортамент прокатных профилей состоит из 4 групп:

- сортовой прокат
- листовой прокат
- трубы
- специальные виды проката

Обычно относительное обжатие заготовки за один проход не превышает даже для горячего металла ( $70 \div 30$ ) %, поэтому окончательный профиль продукта получается многократным процессом повторения обработки заготовки при постепенном уменьшении зазора между валками. При каждом пропуске заготовки площадь её поперечного сечения уменьшается, а форма и размеры постепенно приближаются к требуемым.



Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации:

- продольная (а)
- поперечная (б)
- поперечно-винтовая (в)

**При продольной** прокатке деформация осуществляется между вращающимися **в разные стороны валками**. Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

**Поперечная прокатка.** Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка **вращаются в одном направлении**, а **заготовка круглого сечения – в противоположном**. В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

**Поперечно-винтовая прокатка.** Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

# Прокатка. Технология



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен  $(15 \div 24)^\circ$ , при холодной –  $(3 \div 8)^\circ$ , сортового металла  $(25 \div 27)^\circ$

Технологический процесс состоит из нескольких этапов:

- подготовка исходного материала
- нагрев исходной заготовки(в случае горячей прокатки)
- прокатка
- отделка
- правка

Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева. Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива.

Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации.

Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При прокатке контролируется температура начала и конца процесса, режим обжатия, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Правка проката. Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы. 15

# Волочение



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

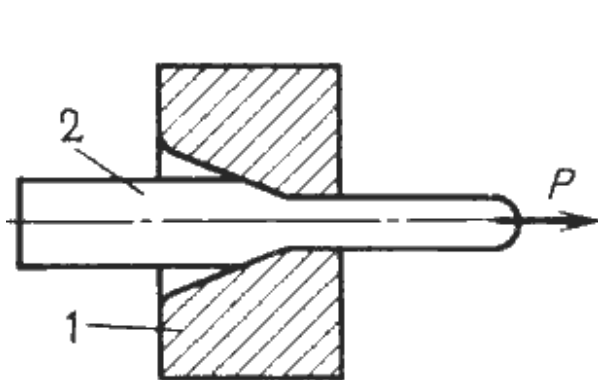
Волочение сходно с прокаткой. Для волочения применяются волоочильные станы. При волочении уменьшается поперечное сечение заготовки, а её длина при этом увеличивается.

Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) через волоку. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля

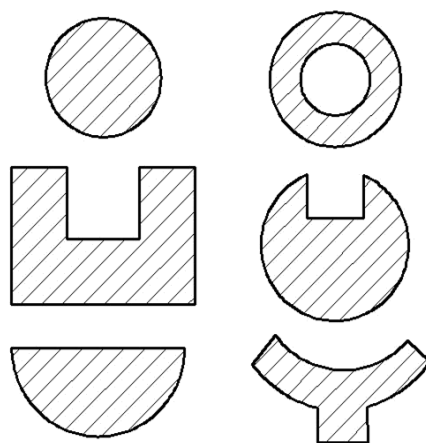
Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в  $1,5 \div 2$  раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный прут, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

Волочением получают проволоку диаметром ( $0,002 \div 4$ ) мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий



1 – волока, 2 – заготовка



Получаемые профили



Технологический процесс волочения включает операции:

- предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности
- травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой, после удаления окалины на поверхность наносят подсмазочный слой путем омеднения, фосфатирования, известкования, к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается
- волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий
- отжиг для устранения наклепа: после (75 ÷ 85) % обжатия для стали и 99 % обжатия для цветных металлов
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.



**Штамповка**, по сути дела, та же ковка, но здесь "течение" металла ограничено формой – штампом. При свободной ковке металл, теснимый бойками сверху и снизу, может свободно течь, то при штамповке течение металла ограничивается стенками ручья и заготовка приобретает его форму.

Производительность штамповки в десятки раз выше производительности свободнойковки. Одновременно при штамповке достигается значительно большая, чем при ковке, точность размеров и чистота поверхности, так что нередко после штамповки детали не требуют механической обработки и получаются вполне готовыми. Расход металла оказывается меньше, чем при ковке. Однако штамповку выгодно применять при крупносерийном и массовом производстве, ввиду высоких затрат на изготовление штампов.

Штамповка, также, как и ковка, производится молотами и ковочными машинами. Штамповка может быть горячей и холодной.

Различают также листовую и объемную штамповку.

**Листовая штамповка** – это метод изготовления изделий из листового материала. Основные преимущества листовой штамповки – возможность изготовления прочных тонкостенных деталей, высокая производительность, экономный расход металла, относительная простота механизации и автоматизации процесса. Листовая штамповка производится чаще в холодном состоянии.

**Объемной штамповкой** называют процесс получения поковок, при которой ручей, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией. Объемную штамповку чаще производят в горячем виде.

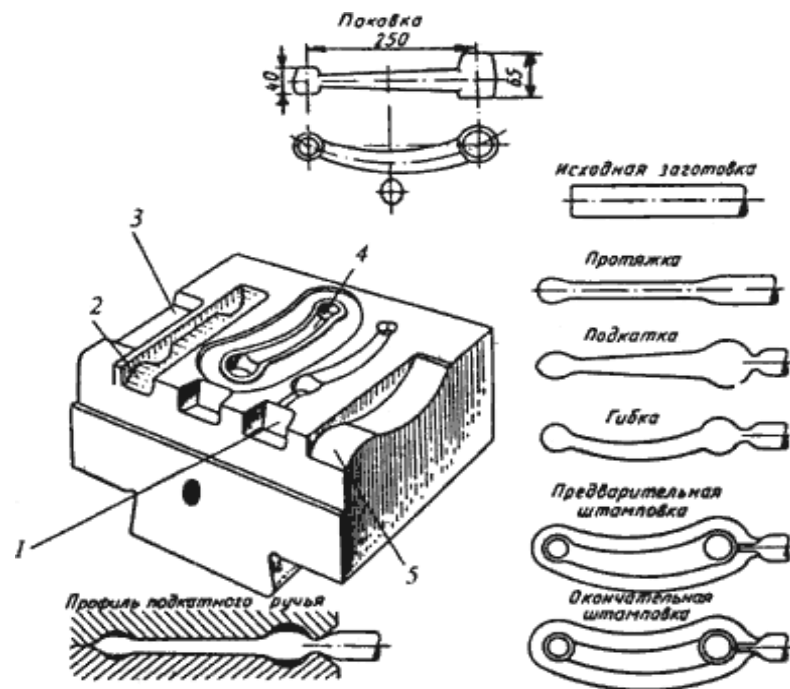
# Штамповка. Оборудование



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Штампы представляют стальные формы, в которых имеются полости, соответствующие изготавливаемой поковке. Для изготовления штампов применяют марганцевую сталь, содержащую  $(0,4 \div 0,5) \%C$  и  $(1,0 \div 1,5) \%Mn$ . Штамп состоит из двух частей: верхней и нижней. Нижняя часть крепится на наковальне, установленной на шаботе, а верхняя – на бойке молота. Штампы бывают одноручьевые и многоручьевые.

Одноручьевые штампы применяются для изготовления простых изделий и для штамповки заготовок, предварительно подготовленных свободной ковкой. Эта подготовка состоит в приближении формы заготовки к готовой поковке. При работе на одноручьевом штампе заготовку, предварительно подготовленную свободной ковкой, приходится переключать с прессы на пресс, со штампа на штамп, пока она не примет нужной формы. Многоручьевые штампы имеют несколько ручьев различного назначения.



Штампочные ручки предназначены для получения готовой поковки. К штампочным ручьям относятся **черновой (предварительный)** и **чистовой (окончательный)**.

Черновой ручей предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

Чистовой ручей служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», то есть больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

На многоручьевом штампе всего за несколько ударов молота, перебрасывая заготовку из ручья в ручей, можно изготовить сложную деталь.

Многоручьевой штамп для штамповки  
1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей;  
3 – протяжной ручей; 4 – чистовой ручей;  
5 – гибочный ручей

# Штамповка. Оборудование



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

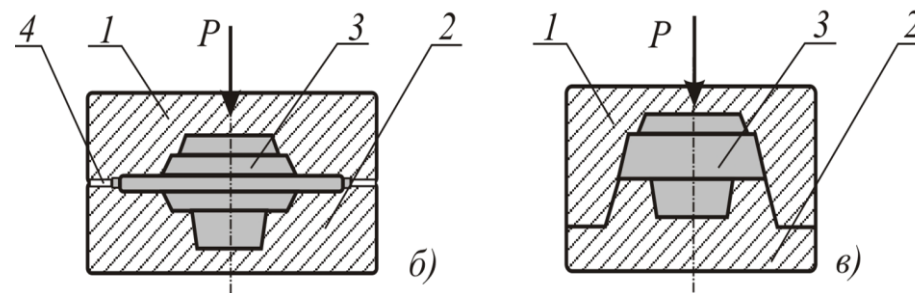
## Штампы могут быть открытые и закрытые

Открытыми называются такие штампы, у которых вокруг всего периметра ручья имеется специальная облойная канавка, соединенная тонкой щелью с полостью штампа. Избыток металла при штамповке вытесняется в облойную канавку. Такой штамп позволяет использовать заготовки с отклонением от размеров. Недостаток – образование отходов в виде облоя, который срезают после завершения процесса штамповки.

Закрытые штампы не имеют облойной канавки и расход металла на отходы (на облой) отсутствует. Но закрытые штампы требуют точной по размерам заготовки.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки.



*Штампы для горячей объемной штамповки: открытый штамп(б); закрытый штамп(в): 1- верхняя часть штампа, 2- нижняя часть штампа, 3- ручей штампа, 4- зазор для выхода облоя*



Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, прессованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции:

- нагрев
- штамповка
- обрезка облоя
- пробивка пленок
- правка
- термическая обработка
- очистка поковок от окалины
- калибровка
- контроль готовых поковок
- отрезка проката на мерные заготовки

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки



**Термическую обработку** применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4%

**Очистку** поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1÷ 2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан

**Калибровка** поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки

# Штамповка жидкого металла. Технология



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Штамповка жидкого металла является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Технологический процесс штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и горячей объемной штамповки.

Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания.

Сопряжение пуансона и матрицы образует закрытую фасонную полость. Наружные контуры заготовки получают разъемной формой, если деталь имеет наружные выступы, или неразъемной формой – при отсутствии выступов. Внутренние полости образуются внедрением пуансона в жидкий металл.

После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

Под действием высокого давления и быстрого охлаждения газы, растворенные в расплаве, остаются в твердом растворе. **Все усадочные пустоты заполняются незатвердевшим расплавом, в результате чего заготовки получаются плотными, с мелкокристаллическим строением, что позволяет изготавливать детали, работающие под гидравлическим давлением.**

Этим способом можно получить сложные заготовки с различными фасонными приливами на наружной поверхности, значительно выходящими за пределы основных габаритных размеров детали. В заготовках могут быть получены отверстия, расположенные не только вдоль движения пуансона, но и в перпендикулярном направлении.

Возможно, запрессовывать в заготовки металлическую и неметаллическую арматуру.

Процесс используется для получения фасонных заготовок из чистых металлов и сплавов на основе магния, алюминия, меди, цинка, а также из черных металлов.



**Прессование** – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля, т.е. металл (изделие) принимает форму отверстия

Процесс прессования осуществляется при температурах горячей обработки металлов давлением, т.е. при их высокой пластичности.

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. При этом металл (изделие) принимает форму отверстия (аналог – тубик с зубной пастой).

**Исходной заготовкой для прессования служит слиток, или прокат круглого сечения.** Прессование производится на горизонтальных либо вертикальных гидравлических прессах.

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10 000 т.

Технологический процесс прессования включает операции:

- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля)
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины
- укладка заготовки в контейнер
- непосредственно процесс прессования
- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка)

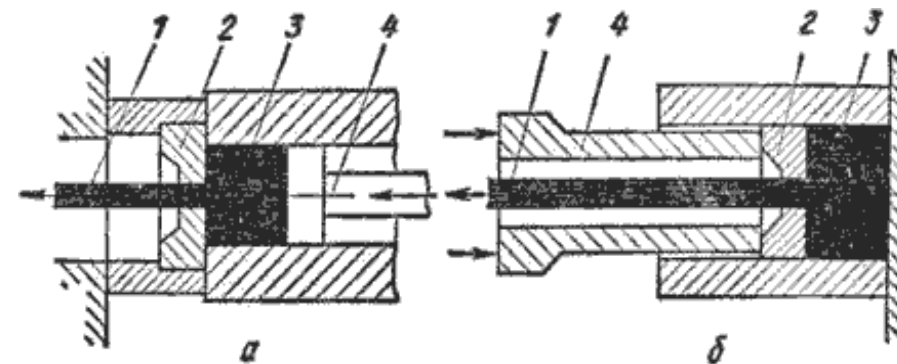
# Прессование



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Применяются два метода прессования: прямой и обратный

**При прямом (а)** прессовании движение пуансона пресса и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет  $18 \div 20$  % от массы заготовки (в некоторых случаях –  $30 \div 40$  %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая



1 – готовый пруток; 2 – матрица;  
3 – заготовка; 4 – пуансон

**При обратном (б)** прессовании заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5...6 %. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема более сложная

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из отверстия матрицы



## К основным преимуществам процесса относятся:

- возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно
- возможность получения практически любого профиля поперечного сечения
- получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы
- высокая производительность, до  $2 \div 3$  м/мин.

## Недостатки процесса:

- повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка
- появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия
- высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента
- высокая энергоемкость

# Формообразование заготовок из порошковых материалов



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами.

При холодном прессовании в пресс-форму (а) засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1.

В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки достигается благодаря силам механического сцепления частиц порошка электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает.

Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование

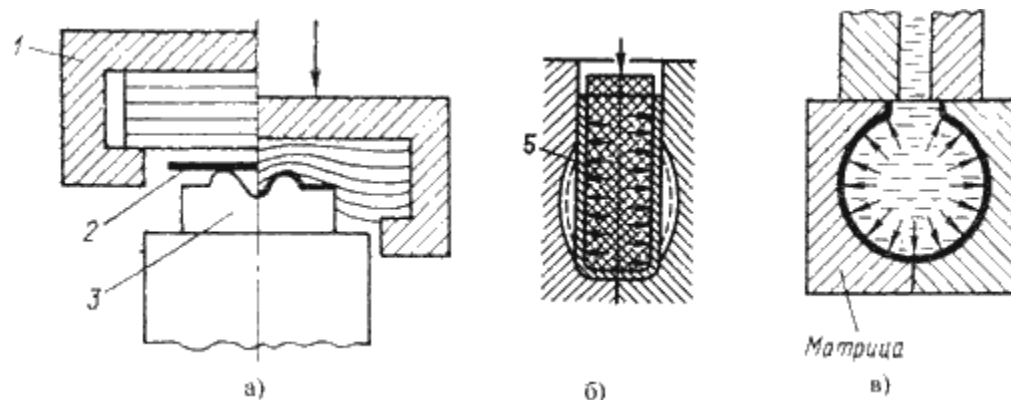


Схема холодного прессования:

а – одностороннего; б – двустороннего; в – объемного

# Качество и дефекты поковок



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Для обеспечения удовлетворительного качества поковки в первую очередь необходимо уделить особое внимание соблюдению требований технологического процесса, что поможет избежать дефектов.

Причина появления дефектов в поковках:

- применение некачественных материалов
- несоответствие температурных режимов при нагреве
- неправильное использование методовковки
- неудачного выбора последовательности выполнения операций
- неправильный подбор инструмента
- применение неисправных инструментов

Основные дефекты поковок: трещины, внутренние разрывы, расслоение, складки, вмятины, раковины.

Дефекты разделяют на неисправимые и устранимые с помощью дополнительных завершающих операций.

К неисправимым дефектам относятся глубокие трещины, расслоения, неметаллические включения, глубокие зажимы, пустоты и трещины в центральной части поковок, пережог.

Исправимыми дефектами являются мелкие неглубокие поверхностные трещины и зажимы, волосовины, плены, окалина, вмятины, крупнозернистая структура, низкая или, наоборот, повышенная твердость металла.

К исправимым дефектам относятся небольшие трещинки, складки, нажимы и малый перегрев, которые подлежат устранению.

Неисправимыми дефектами считаются глубокие поперечные и продольные трещины, рыхлость, значительный перегрев и неметаллические включения. Такие поковки непригодны для дальнейшего применения и поэтому сразу бракуются.



1. **Выбор метода изготовления.** В некоторых случаях лишь применение нескольких методов обработки позволяет обеспечить максимальное соответствие технологических и эксплуатационных требований, предъявляемых к заготовке. Поэтому выбор того или иного способа является довольно-таки сложной задачей, которая требует учета сразу нескольких факторов, в том числе технико-экономических параметров. Таким образом, **при подборе способа производства первоначально следует учесть самые основные критерии:**

- объем партии деталей
- размер и масса поковки
- технологические свойства материала
- форма детали (геометрия)

2. **Объем партии деталей.** В мелкосерийном и единичном производстве при изготовлении деталей небольшими партиями следует применять ковку, поскольку использование специальной технологической оснастки приведет к увеличению себестоимости поковки. В данном случае неизбежны значительные припуски и большой объем дальнейшей обработки методом резания. Для получения заготовок с максимально точными размерами и наименьшими напусками необходимо использовать дополнительную оснастку, что значительно повышает затраты при производстве небольшого объема деталей.

В серийном производстве наиболее целесообразно использовать разные методы штамповки на молотах и прессах.

При крупносерийном или массовом производстве рекомендуется применять штамповку на прессах с выносом отдельных формоизменяющих операций на специальное оборудование.

# Основные этапы производства поковок



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

3. **Размер и масса поковки.** Размеры заготовок зависят от технических параметров используемого оборудования и инструментов. От выбранных габаритов и массы изделия зависит выбор температурного режима при обработке давлением. **При больших размерах и массе поковки рекомендуется применять деформацию с нагревом, которая обеспечивает наименьшее давление на инструмент и меньше сила деформирования. При небольших размерах лучше всего использовать холодное деформирование ввиду экономичности такого способа, поскольку 15-20% производственных затрат идет на нагрев.**

4. **Технологические свойства материала.** Сложность изготовления качественной поковки зависит от пластичности металла или сплава. **Если необходимо произвести поковку из материалов, которые с трудом подвергаются деформации, то следует выбирать метод, обеспечивающий схему нагружения, близкую к трехосному неравномерному сжатию.**

Стойкость материала к деформации определяет нагрузки, которые возникают на инструменте. По этой причине для деформирования материалов с высоким сопротивлением необходимо выбирать схемы штамповки с меньшими силами деформирования.

Также это следует учитывать при подборе метода холодной объемной штамповки, при которой к технологической пластичности и сопротивлению к деформации металлов. Особенность таких процессов заключается в высоком давлении пластического течения материала и низкой пластичности в холодном состоянии. Для объемной штамповки применяют заготовки низкоуглеродистых и среднеуглеродистых, некоторых низколегированных сталей, а также пластичных алюминиевых и медных сплавов.

5. **Форма детали (геометрия).** От формы детали зависит выбор оптимального метода изготовления поковки. Поковки, произведенные горячей штамповкой по соотношению линейных размеров в плане делятся на: круглые в плане, близкие к кругу по форме, с удлиненной осью, с изогнутой осью и др., а также по наличию сквозных или глухих полостей и по другим признакам.

# Качество поковок



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

В зависимости от ответственности будущей детали, конструктор назначает группу качества поковки

| ГРУППА<br>ПОКОВОК | УСЛОВИЯ ПРИЕМКИ                                                | ПРИМЕЧАНИЕ                                                                   |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| I                 | БЕЗ ИСПЫТАНИЙ                                                  |                                                                              |
| II                | С ИСПЫТАНИЕМ НА<br>ТВЕРДОСТЬ                                   | ТЕРМООБРАБОТКУ ДЕЛАЮТ<br>ОДНОВРЕМЕННО ДЛЯ ВСЕЙ<br>ПАРТИИ                     |
| III               |                                                                | ТЕРМООБРАБОТКУ ДЕЛАЮТ ПО<br>ИНДИВИДУАЛЬНОМУ РЕЖИМУ                           |
| IV                | С ИСПЫТАНИЕМ НА<br>РАСТЯЖЕНИЕ, УДАРНУЮ<br>ВЯЗКОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ | ВЫБОРОЧНО ДЛЯ ПОКОВОК<br>ОДНОЙ ПЛАВКИ СТАЛИ ПРИ<br>СОВМЕСТНОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ |
| V                 |                                                                | ПРИНИМАЕТСЯ ИНДИВИДУАЛЬНО<br>КАЖДАЯ ПОКОВКА                                  |



## Качество поковок определяет:

- точность их геометрических форм и размеров
- механические свойства
- структура и отсутствие поверхностных и внутренних дефектов

Получение высококачественных поковок зависит от правильной разработки их чертежей, проектирования и выполнения операций технологического процесса, а та же от организации работы технического контроля.

## Причиной брака кованных поковок могут быть:

- наружные и внутренние дефекты стального слитка
- трещины и другие поверхностные дефекты, которые при ковке не исправляются, а переходят в поковки
- при нагреве в окислительной атмосфере с избытком воздуха может образовываться слой окалины большой толщины (до 12-15 мм), которая при ковке вдавливается в металл и образует глубокие вмятины на поверхности поковок
- не соблюдение/отклонение от режимов операций технологического процесса

## Примеры

На последних переходахковки при охлаждении заготовки из-за недостаточной пластичности металла могут образовываться трещины. При неправильном нагреве может происходить выгорание углерода в поковке из высокоуглеродистой стали, может образовываться обезуглероженный слой, глубина которого будет превышать припуск на обработку, вследствие чего снижается твердость поверхности изделия после термообработки.

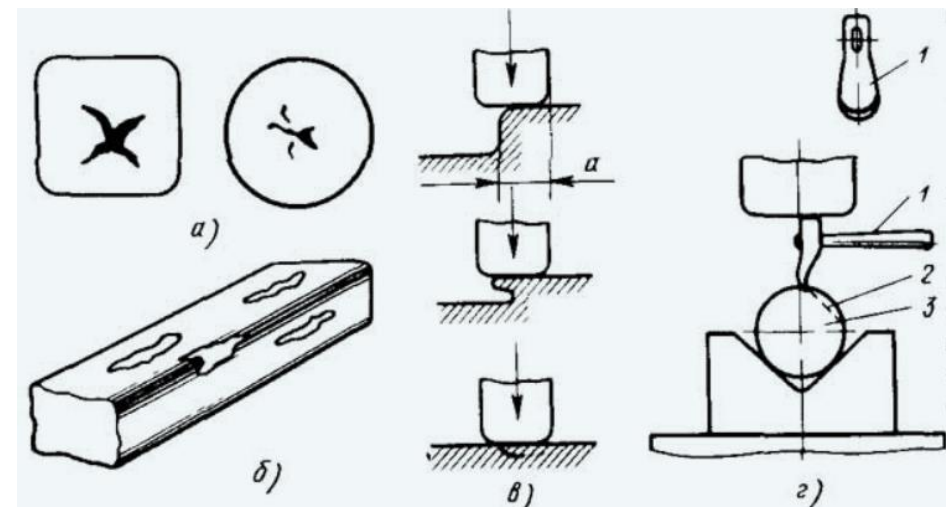
При интенсивной протяжке заготовок круглого сечения, недостаточном нагреве или при малой массе падающих частей молота на концах поковки получаются выгнутые торцы, увеличивающие концевые припуски. При не соблюдении температурного режимаковки или некачественном неоднородном материале образуются наружные трещины. Внутренние разрывы (свищи, расслоения) чаще всего возникают вследствие неправильного веденияковки. При недостаточной проковке слитков в поковке может сохраняться крупная кристаллическая литая структура, обуславливающая ее пониженные механические свойства.

# Дефекты поковок



**Трещины.** Мелкие и глубокие продольные и поперечные трещины могут возникнуть из-за наличия трещин и глубоких рисок внутри и на поверхности исходных слитков или проката, при неправильном режиме нагрева и охлаждения. Последнее особенно характерно для обработки заготовок больших сечений из легированных сталей. Трещины могут также возникать при деформировании подставших заготовок, при ковке с деформациями, превышающими пластичность металла.

Трещины на поверхности поковок наблюдаются в виде темных прямых или искривленных полос, видимых невооруженным глазом. Внутренние трещины могут быть обнаружены рентгеновским или ультразвуковым методом контроля.



*а - пустоты, б - плены, в - зажимы, г - глубокие дефекты;  
1 - топор, 2 - трещина, 3 – заготовка*

**Пустоты** ("свищи", "скворешники") в центре поковок (а), появляется при неправильном выполнении протяжки, относятся к неустраняемым дефектам.

**Плены** обнаруживаются в виде закованных в тело поковки тонких поверхностных пленок (б). Края плен похожи на трещины, но при попытке раскрыть такую "трещину" острым предметом обнаруживается, что это тонкий слой металла. В виде плен также заковываются в поковку неудаленные вовремя тонкие заусенцы. При выполнении гибки на изгибаемом участке поковки плены раскрываются, приобретая вид чешуек, и легко обнаруживаются визуально невооруженным глазом.

# Дефекты поковок



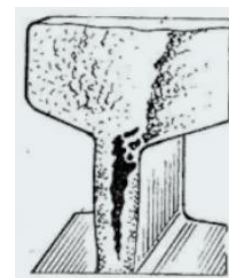
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Зажимы** (в) часто появляются в случае осадки кромок или уступов поковки при малой подаче. Под инструментом при ударе или нажатии сначала образуются складки, которые при дальнейшей деформации заковываются и приводят к образованию зажима — дефекта, похожего на трещину.

**Окалина**, как известно, образуется не только при нагревании заготовки в печи или горне, но возникает вновь и при остывании поковки по окончанииковки. Такая окалина, называемая вторичной, не является дефектом и удаляется различными методами перед отправкой поковок для дальнейшей обработки в механический цех.

**Вмятины** чаще всего возникают при неаккуратной работе кузнецов. Окалина с поверхностей наковальни и заготовки при деформации внедряется в тело поковки. После очистки от окалины на поковке появляются вмятины. Этот дефект в виде местного углубления также возникает при ударе углом кувалды или молотка по гладкой поверхности нагретой поковки. Вмятины увеличивают припуск на механическую обработку, а также трудоемкость изготовления деталей.

**Расслоение** возникает чаще всего при низком качестве исходного металла (вследствие недостаточного прогрева заготовки и еековки с повышенными степенями деформаций). Этот дефект, как правило, охватывает большой объем металла и имеет значительную глубину. Исправить такую поковку практически невозможно. Представляет собой вытянутые плоские нарушения сплошности



**Волосовины** — это очень мелкие и тонкие трещины, образующиеся в процессе прокатки иковки стали, имеющей мелкие газовые пузыри, или от слишком быстрого охлаждения **поковок**. **Волосовины** обнаруживаются трудно. Их выявляют визуально только после травления или при шлифовании, т. е. на финишных операциях резания



# Устранение дефектов поковок



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Дефекты, обнаруженные при ковке, по возможности должны быть сразу же устранены, поскольку ковка дефектной заготовки может привести к получению поковки с неисправимыми дефектами. Такие поковки являются негодными, их бракуют и отправляют на переплавку. Поковки, имеющие дефекты, которые можно устранить, подвергают дополнительным завершающим операциям, с тем чтобы поковки стали годными для дальнейшей обработки. Выбор операции зависит от вида дефекта, который необходимо ликвидировать.

Дефекты структурного характера (перегрев и пережог) возникают, как известно, при неправильном режиме нагрева. Если пережженный металл является окончательным браком, то крупнозернистая структура перегретого металла относится к исправимому дефекту. Получение требуемой структуры и определенной твердости готовых поковок обеспечивается их термической обработкой на заключительной стадии изготовления.



Технологические испытания материалов — это вид разрушающих испытаний, который проводится **для оценки способности материала воспринимать определённую деформацию** в условиях, максимально приближенных к производственным и носят качественный характер.

К технологическим испытаниям относят:

- испытания на сплющивание
- испытания на загиб
- испытания на раздачу
- испытания на бортование
- испытания на осадку

Для труб с внешним диаметром не более 114 мм применяют **пробу на загиб** (ГОСТ 3728)

Испытание **на раздачу** (ГОСТ 8694) и испытание на сплющивание до определенного размера, причем для сварных труб ГОСТ 8685 предусматривает положение шва, испытание гидравлическим давлением

Для испытания проволоки или прутков круглого и квадратного сечения, предназначенных для изготовления болтов, гаек и других крепежных деталей методом высадки, используют **пробу на осадку** (ГОСТ 8817)

Для прутковых материалов широко применяется проба на изгиб.

Для определения способности листового материала толщиной до 2 мм выдерживать операции холодной штамповки (вытяжки) применяют метод **испытания на вытяжку** сферической лунки с помощью специальных пуансонов, имеющих сферическую поверхность (ГОСТ 10510)

Лист или ленту толщиной менее 4 мм испытывают **на перегиб** (ГОСТ 13813)

Проволоку из цветных и черных металлов испытывают **на скручивание** (ГОСТ 1545) с определением числа полных оборотов до разрушения образцов, длина которых обычно составляет  $d \times 100$  ( $d$  – диаметр проволоки). Применяют также испытание на перегиб (ГОСТ 1579) по схеме, аналогичной испытанию листового материала. Проводят пробу на навивание (ГОСТ 10447)

# Спасибо за внимание

**Семенова Елена**

[Semanova\\_es@aep.ru](mailto:Semanova_es@aep.ru)

**31.10.2024**