

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*В.Р. КАРГИН, Б.В. КАРГИН,
Е.В. АРЫШЕНСКИЙ*

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 22.03.02. Металлургия

САМАРА
Издательство Самарского университета
2021

УДК 621.73(075)

ББК 34.623я7

К218

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А. И. Хаймович,
канд. техн. наук, доц. А. П. Быков

Каргин, Владимир Родионович

К218 **Теория и технологияковки:** учебное пособие /
В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, Е.В. Арышенский. – Самара:
Издательство Самарского университета, 2021 – 144 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1594-2

Изложены основные операцииковки и инструмент. Описана теория, технология и методика проектирования технологических процессов свободнойковки поковок под молотами и прессами.

Предназначено для подготовки бакалавров по направлениям 15.03.01 Машиностроение и 22.03.02 Металлургия по дисциплине «Теория и технологияковки».

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

УДК 621.73(075)

ББК 34.623я7

ISBN 978-5-7883-1594-2

© Самарский университет, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Основные технологические операцииковки	11
1.1 Осадка	11
1.2 Протяжка	17
1.3 Прошивка.....	21
1.4 Гибка и закручивание	24
1.5 Отрубка и кузнечная сварка.....	25
1.6 Образование уступов, выступов, выемок	27
1.7 Биллетировка слитка	30
1.8 Проглаживание и правка.....	31
1.9 Показатели деформации при ковке	33
1.10 Контрольные вопросы	35
2 Разработка технологических процессовковки.....	38
2.1 Составление чертежа поковки.....	38
2.2 Расчет размеров и массы исходной заготовки	44
2.3 Разделение материалов на мерные заготовки	48
2.4 Определение типа прессы или молота.....	57
2.5 Нагрев и охлаждение заготовок	61
2.6 Температурный интервалковки	69
2.7 Технологические схемыковки	74
2.8. Контрольные вопросы	81
3 Теория процессовосадки	84
3.1 Напряженно-деформированное состояние.....	84
3.2 Расчет усилия осадки цилиндрических заготовок.....	96
3.3 Расчет заготовки с учетом бочкообразования.....	98
3.4 Особенности осадки в подкладных кольцах	104
3.5. Контрольные вопросы	114
4 Теория процессовпротяжки.....	116
4.1 Способы протяжки.....	116

4.2 Показатели деформации при протяжке	118
4.3 Влияние параметров протяжки на величину коэффициента интенсивного уширения	124
4.4 Алгоритм и пример расчета протяжки заготовок	128
4.5 Раздача на оправке	133
4.6 Контрольные вопросы	135
Рекомендуемый список литературы.....	137
Глоссарий	141

ВВЕДЕНИЕ

Ковка является одним из первых известных человеку видов обработки металлов давлением. Она началась одновременно с открытием металла. Ковка долгое время оставалась единственным способом пластического деформирования металлов. В настоящее время ковка занимает достойное место среди других процессов обработки металлов давлением. Ковку применяют почти во всех отраслях промышленности, связанных с металлообработкой.

Ковка – это обработка металлов давлением, при которой многократным и прерывным воздействием универсального инструмента металл последовательно пластически деформируется, постепенно приобретая заданные формы и размеры.

Технологический процесс ковки, представленный на рис.1 – это сложный процесс, состоящий из нескольких стадий нагрева и



Рис. 1. Схема технологического процесса ковки поковок

подогрева металла в печах; собственной кузнечной операции, при которой формоизменение исходной нагретой заготовки происходит в результате свободного течения металла в стороны, перпендикулярные движению деформирующего инструмента. По этой причине ковку часто называют свободной ковкой. Процессковки состоит также из резки исходного металла на мерные заготовки, первичной термической обработки (отжиг, нормализация), правки, контроля геометрии и качества заготовок. В качестве универсального инструмента применяют плоские или фигурные (вырезные бойки), а также различных прикладной инструмент: обжимки, пережимки, оправки, прошивни, надставки (рис. 2).

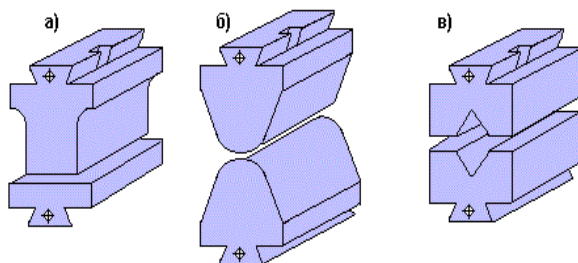


Рис. 2. Плоские (а) и фигурные (б, в) ковочные бойки

Ковкой получают заготовки, называемые поковками, для последующей механической обработки резанием или для обработки давлением при единичном и мелкосерийном производстве. Только ковкой можно изготавливать ответственные и тяжело нагруженные детали современных крупных машин, таких как турбины, котлы высокого давления, гидравлические прессы, прокатные станы, экскаваторы. Такие детали могут иметь массу в десятки тонн, а габаритные размеры в десятки метров. Поковки массой до 500 кг относятся к средним, это поковки коленчатых валов крупных дизелей, вагонных осей, различных шестерен, маховиков. Мелкие поковки массой менее 50 кг очень разнообразны по форме, к ним

относятся, например, поковки, изготавливаемые в ремонтных целях. Практически любое металлообрабатывающее предприятие имеет в своем составе участок или цехковки.

В качестве исходного материала для свободнойковки применяют металлы в виде крупных слитков (рис. 3,а), кованые прутки и сортовой прокат простых поперечных сечений (круглое, квадратное, прямоугольное), прессованные прутки (рис. 3,б). Большие поковки получают из слитков, а поковки средних и маленьких размеров получают из проката и прессованных заготовок.

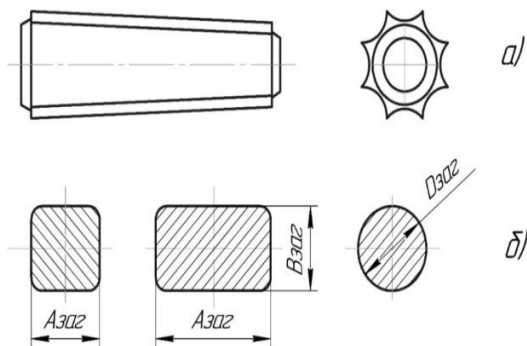


Рис. 3. Металл, применяемый при ковке в качестве заготовок:
а – слитки, б – сортовой прокат

Ковка подразделяется на ручную и машинную. Ручную ковку выполняют с помощью кувалды и наковальни. Для машиннойковки применяют молоты, прессы, манипуляторы, автоматизированные ковочные комплексы с числовым программным управлением или мини ЭВМ.

Ковку применяют для получения поволоков упрощенной формы: шатуны, рычаги, крюки, кольца, диски, оси, валы (рис. 4). Ковка – единственный способ получения экзотической продукции (решетки, ворота, калитки и т.п.).

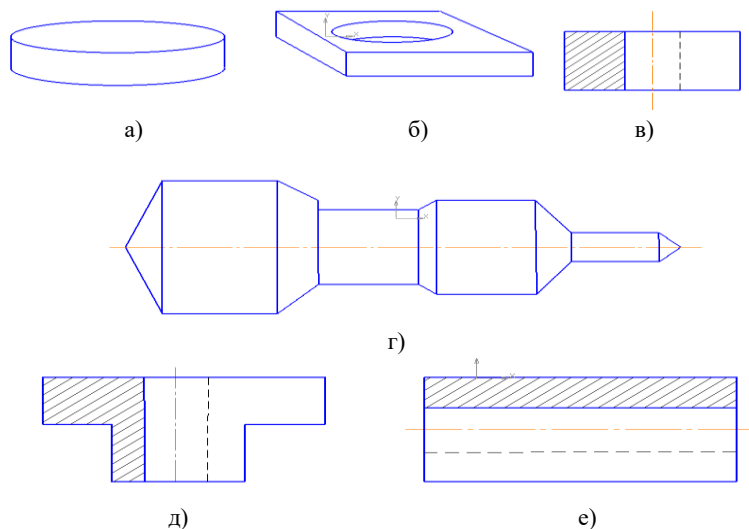


Рис. 4. Примеры типовых поковок:

а – диск; б – плита с отверстием; в – кольцо; г – вал; д – фланец;
 е – цилиндр с отверстием

Безковки не обойтись при получении таких изделий, как многотонные валы мощных гидрогенераторов и турбин, гребных валов атомоходов и супертанкеров, коленчатых валов, дисков, фланцев. Ковка незаменима при производстве крупных пустотелых поковок (сосудов, котлов, барабанов, колец, цилиндров).

В настоящее время ковку осуществляют на ковочных паровоздушных и пневматических молотах двойного действия, ковочных гидравлических прессах. На гидравлических прессах деформируют в основном крупные слитки, а на молотах мелкие слитки, катанные и прессованные заготовки.

Пневматический молот на рис. 4 имеет два цилиндра: рабочий 1 и компрессорный 2. Поршень компрессорного цилиндра 3 приводится в движение электродвигателем 8 через редуктор с помощью кривошипного механизма 4. При возвратно-поступательном движении над поршнем 4 создается либо сжатие, либо разрежение

воздуха. Компрессорный цилиндр соединен с рабочим через воздуходелительный механизм 9. Благодаря этому сжатый воздух попеременно поступает в рабочий цилиндр над и под рабочим поршнем.

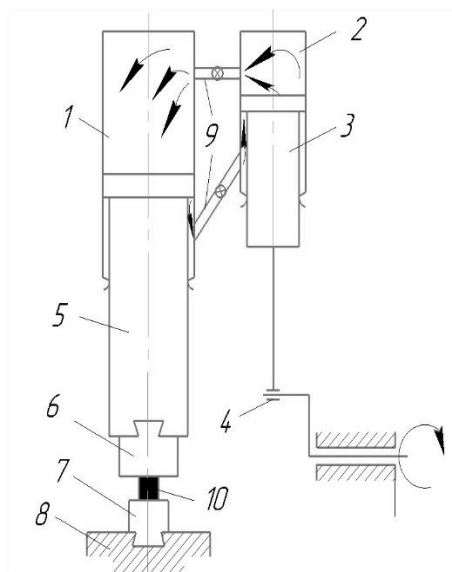


Рис. 5. Схема пневматического молота дляковки

Таким образом, обеспечивается движение массивной бабы 5 вверх и вниз совместно с верхним бойком 6. Заготовку 10 помещают на неподвижный нижний боек 7 и подвергают ударному воздействию верхним бойком.

Процессковки имеет следующие достоинства:

1. Высокое качество металла поковок по сравнению с поковками, полученными методомлитья.

2. Возможность получать крупные поковки, масса которых составляет десятки и сотни тонн, а длина – десятки метров. Изготовление таких поковок другими способами невозможно или нецелесообразно.

3. Для изготовления поковок используют прессы и молоты сравнительно небольшой мощности, так как поковки куются по частям.

4. Использование универсального оборудования и инструмента позволяет получать поковки заданной формы и размеров с минимальными затратами, что в единичном и мелкосерийном производстве является экономически выгодным.

5. Улучшение структуры, механических свойств и качества металла благодаря турбулентности деформации, разрушающей литую дендритную структуру при обжатиях.

К недостаткамковки относят:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей объемной штамповкой.

2. Большие напуски и припуски на поковках приводят к большому расходу металла и высокой трудоемкости последующей механической обработки резанием.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ КОВКИ

Процесс ковки поковок состоит из чередования отдельных технологических операций, которые подразделяются на основные (осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, закручивание), вспомогательные (резка, нагрев и охлаждение, обкатка, биллетировка слитков, кузнечная сварка, передача, формирование уступов, выступов, выемок,) и отделочные (проглаживание, правка, термообработка), выполняемых в определенной последовательности.

1.1 Осадка

Осадка металла заготовок плоскими бойками является простейшей и наиболее распространенной операцией процесса ковки. При осадке плоскости бойков обычно должны полностью перекрывать торцы заготовок от начала до конца осадки.

подавляющее большинство кузнечных слитков перед дальнейшей ковкой проходит операцию осадки. Осадка используется также при ковке дисков, валов с фланцами, плит и т.д. Помимо этого, элементы осадки имеют место почти во всех других кузнечных операциях, кузнечной протяжке, прошивки. Операция осадки имеет два самостоятельных значения:

- 1) получение в кованном изделии требуемых физико-механических свойств;
- 2) получение поковки требуемых размеров.

Основными разновидностями осадки являются осадка плоскими бойками, осадка в подкладных кольцах или плитах с осевыми отверстиями, высадка, осадка разгонкой, осадка слитка с хвостовиком.

Сущность процесса осадки в плоских бойках заключается в уменьшении размера в направлении действия приложенной активной силы P и одновременном увеличении поперечного сечения осаживаемой заготовки 1 (рис. 6). При осадке заготовку устанавливают вертикально (на торец), а инструмент движется вдоль ее оси.

В качестве основного инструмента при осадке используют параллельно расположенные бойки 2, один из которых крепится к подвижному органу кузнечной машины, а второй закрепляется на столе прессы или молота. Верхний боек совершает возвратно-поступательное движение.

У исходной цилиндрической заготовки отношение высоты заготовки к ее диаметру H_0/D_0 не должно быть больше трех. При больших отношениях H_0/D_0 возможен продольный изгиб – такую заготовку трудно осаживать.

В процессе осадки заготовка деформируется неравномерно вследствие влияния сил трения, возникающих на поверхности бойков и затрудняющих течение металла, а также из-за охлаждения торцов нагретой заготовки, контактирующих с инструментом. Результатом этого является бочкообразная форма боковой поверхности заготовки.

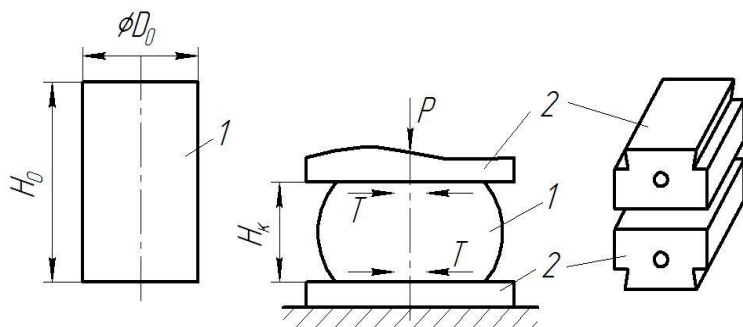


Рис. 6. Схема осадки цилиндрических заготовок:

1 – заготовка; 2 – бойки

Осадку применяют:

- для получения поковки или отдельного участка на ней с большим поперечным сечением, чем сечение исходной заготовки;
- для подготовки заготовки к выполнению в ней отверстий прошивкой;
- для повышения степени укова (деформации) и улучшения механических свойств металл при последующей протяжке;
- для получения в поковках структуры с рациональным расположением волокон с целью повышения механических свойств и их равномерности распределения во всех направлениях.

Для уничтожения бочкообразной формы заготовки и придания ей цилиндрической формы применяют дополнительную операцию: **обкатка по диаметру**. Ее выполняют легкими ударами (нажимами) верхнего бойка молота 1, вращая заготовку 2 вокруг ее оси (рис. 7). Так как после обкатки толщина по краю заготовки увеличивается, то применяют правку торцов для получения одинаковой толщины путем осадки между плоскими бойками.

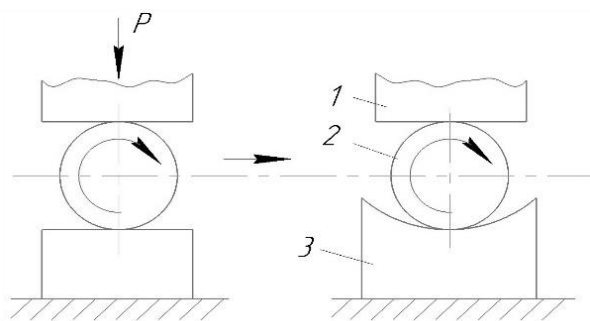


Рис. 7. Схема операции обкатки заготовок по диаметру:

1, 3 – бойки; 2 – заготовка

Операция обкатки по диаметру облегчается при использовании вырезного нижнего бойка З.

Разновидностью осадки является **осадка в подкладных кольцах** или плитах с отверстиями (рис. 8).

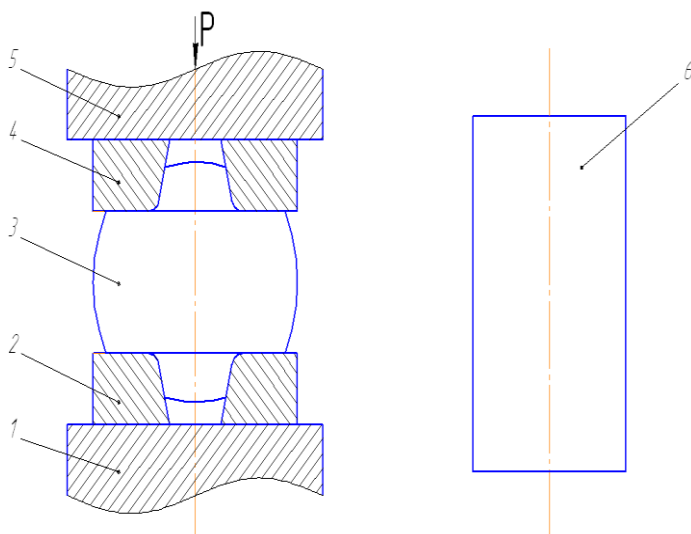


Рис. 8. Схема осадки цилиндрических заготовок в подкладных кольцах:

- 1 – нижний боек; 2 – нижнее кольцо; 3 – заготовка после осадки;
4 – верхнее кольцо; 5 – верхний боек; 6 – заготовка

В этом случае получают поковку типа диска с одной или двумя бобышками (отростками, ступицами, цапфами). Поковка приобретает ступенчатую форму с утолщенной серединой, называемой фланцем или диском. Для облегчения удаления поковки из колец после осадки стенки отверстий имеют ковочные уклоны от 2 до 5–7 градусов в зависимости от высоты ступиц. При этой операции одновременно с осадкой заготовки происходит выдавливание металла в конические отверстия подкладных колец. Если на поковке требуется получить только одну бобышку, то применяют одно подкладное кольцо.

Подкладные кольца для осадки заготовок применяют при ковке как на молотах, так и прессах.

Другой разновидностью осадки заготовки 3 плоскими бойками 1 и 2 является неполная осадка или **высадка** (рис. 9,а). При высадке деформируется только часть заготовки 3 с увеличением ее поперечных размеров, а общая длина уменьшается. Высота выступающего из кольца 4 конца заготовки H не должна превышать 2,5 ее диаметра D во избежание продольного изгиба.

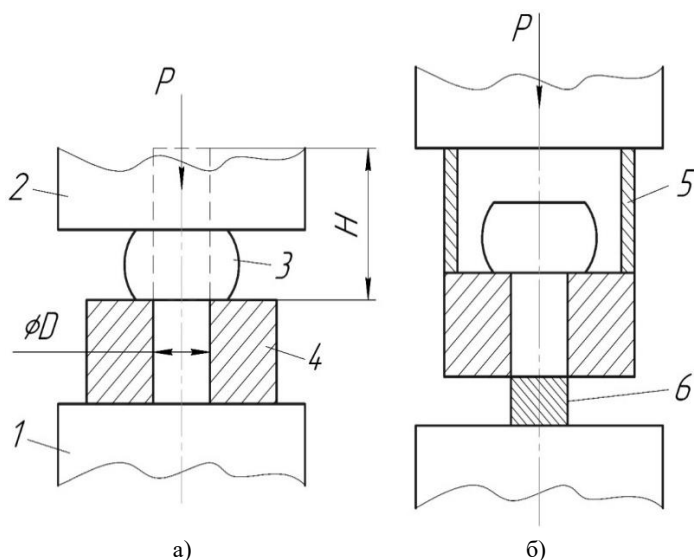


Рис. 9. Схема операции высадки

Для удаления высаженной заготовки используют съемное кольцо 5 и подкладку 6, устанавливаемую между нижним бойком 1 и торцом заготовки 2 (рис. 9,б). Далее нажатием верхнего бойка 2 на съемное кольцо 5 удаляют поковку.

Высадку можно осуществлять при осадке между бойками за счет неравномерного нагрева заготовки по высоте (рис. 10).

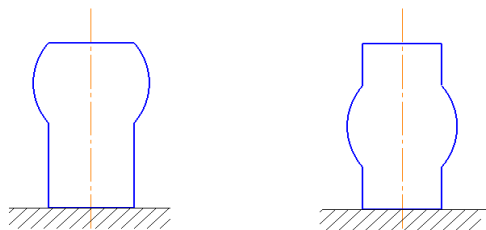


Рис. 10. Вид неравномерно нагретой заготовки по высоте после осадки

Для увеличения площади уже осаженной заготовки за счет уменьшения ее толщины в отдельных участках применяют операцию: **осадка разгонкой** (рис. 11).

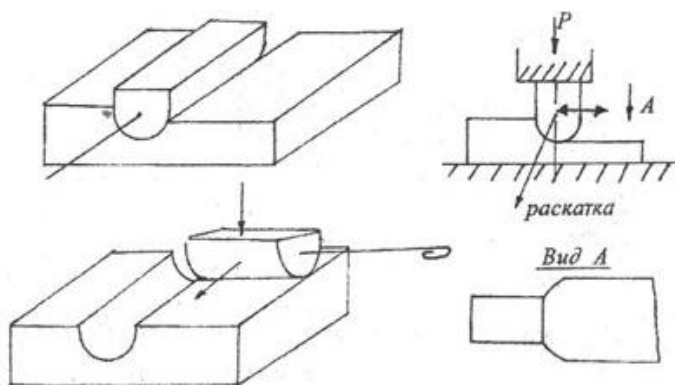


Рис. 11. Схема осадки участка заготовки разгонкой

Вначале на заготовке выполняют засечку (пережим) с помощью пережимки (полукруглой раскатки). Далее устанавливают раскатку перпендикулярно пережиму по центру заготовки. Разгонку осуществляют путем перемещения раскатки после каждого удара бойков от середины к краям. После разгонки поверхность полотна заготовки оказывается волнистой и для ее выравнивания используют гладилки с плоской рабочей поверхностью.

Процесс разгонки бойком молота для увеличения диаметра заготовки аналогичен осадке раскаткой, только роль раскатки выполняет верхний подвижный узкий боек (рис. 12).

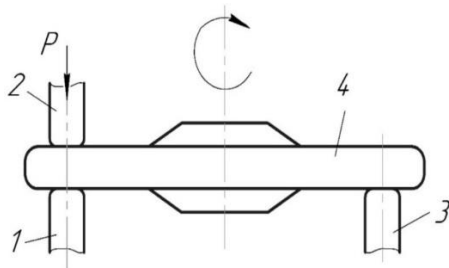


Рис. 12. Схема увеличения диаметра полотна поковки

Заготовку 4 устанавливают на нижний боек 1 и подставку 3, и разгоняют полотно верхним бойком 2, уменьшая его высоту и увеличивая диаметр. После каждого удара заготовку вращают вокруг ее вертикальной оси на некоторый угол. Таким образом, можно получить крупногабаритную поковку для турбинного диска авиадвигателя.

1.2 Протяжка

Процесс протяжки (вытяжки) в узких бойках 1 заключается в удлинении заготовки 2 или ее части за счет одновременного уменьшения площади поперечного сечения (рис. 13).

Протяжку применяют как промежуточную или как окончательную формообразующую операцию при ковке гладких, ступенчатых валов с уступами и выемками, коленчатых валов, шатунов, рычагов, длинных полых поволоков в форме цилиндров и труб, коротких полых поволоков в форме колец и обечаек.

При протяжке заготовку в отличие от осадки обрабатывают участками, последовательно задавая ее под узкие бойки молота

или пресса. Сжимаемый по высоте металл течет в направлении длины и ширины заготовки.

В результате нескольких операций протяжки, сопровождающихся поворотами заготовки на 90° (кантовкой), последняя постепенно удлиняется.

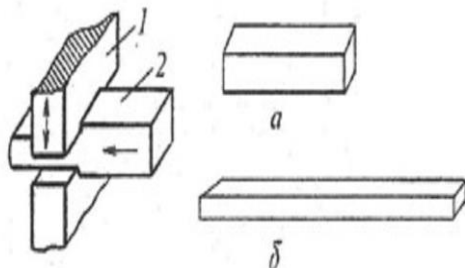


Рис. 13. Схема протяжки заготовки 2 узкими бойками 1:
а – заготовка до протяжки, б – после протяжки

Для получения поковок круглого сечения применяют протяжку вырезными узкими бойками с круга на круг, с постоянными обжатиями и поворотами на малые углы по кругу, а далее подача и т.д. (рис. 14). В этом случае течение металла заготовки в радиальном направлении сдерживается стенками бойков, что дает возможность протягивать ее более интенсивно. Часто при протяжке используют сочетание плоского и вырезного бойков.

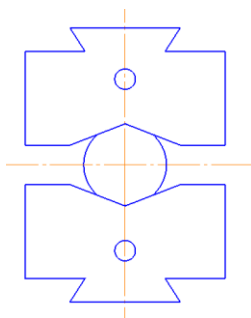


Рис. 14. Схема протяжки в вырезных бойках

Протяжка на оправке между вырезными бойками представляет собой операцию, посредством которой производится увеличение длины предварительно проштампованной цилиндрической заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки (рис. 15).

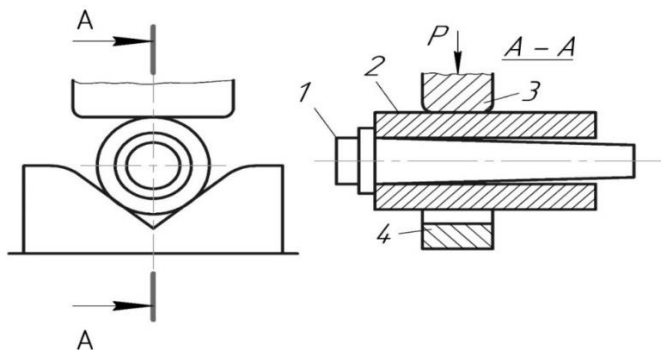


Рис.15. Схема протяжки на оправке

Этот способ ковки применяют при изготовлении поковок типа цилиндров, орудийных стволов, барабанов, обечаек. Заготовку 2 в виде толстостенной трубы надевают на оправку 1 до упора в борт и вместе с ней устанавливают на нижний вырезной боек 4. Протяжку начинают вести с противоположного конца полой заготовки.

При протяжке верхним плоским бойком 3 заготовку равномерно вращают вокруг ее оси и подают в бойки вместе с оправкой. Для получения тонкостенных поковок используют только вырезной боек. При каждом обжатии, наружный диаметр заготовки уменьшается, а длина увеличивается.

Оправку по форме делают слегка конической 1:100-1:150 с буртом для удобства ее извлечения из отверстия поковки. Оправка повышает интенсивность всестороннего обжатия и, следовательно, пластичность обрабатываемого металла.

При первых обжатиях заготовка плотно охватывает коническую оправку. При последующей подаче заготовки в зону бойков,

предварительно обжатый участок перемещается в сторону меньшего диаметра оправки, так как перемещению металла в другую сторону препятствует борт. В конце протяжки только участок, прилегающий к бурту, обжимает оправку. Остальная часть заготовки находится на оправке с зазором, что заметно облегчает удаление поковки.

Раскатка (раздача) на ковочной оправке 2 применяется при ковке коротких полых поковок типа колец и обечаек 2 путем увеличения наружного и внутреннего диаметров предварительно прошитой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки (рис. 16).

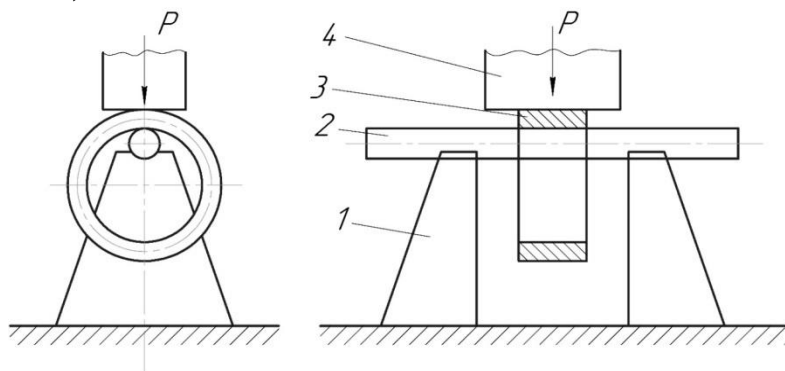


Рис. 16. Схема раскатки кольцевых заготовок на ковочной оправке

Процесс является разновидностью протяжки, так как можно представить, что концы заготовки соединены между собой в кольцо. Ковку при раскатке ведут узким и удлиненным бойком 4, располагая его длинной стороной параллельно цилиндрической оправке 2, опирающейся концевыми участками на две стойки (опоры) 1. При этом желательно, чтобы длина оправки не перекрывала длину заготовки (высоту кольца).

После каждого обжатия цилиндрическую оправку 2 вращают, благодаря чему поворачивается вследствие трения в тангенциальном направлении и кольцо 3. В результате раскатки высота кольца увеличивается незначительно.

1.3 Прошивка

Операция прошивки служит для получения в осаженной заготовке сквозных отверстий или глухих полостей (углублений) с помощью прошивок и надставок (рис. 17).

Основной прошивень 2 конической формы и наибольшим диаметром d устанавливают на цилиндрическую заготовку 3 диаметром D_0 и высотой H_0 меньшим торцом вниз и ударами верхнего бойка 1 вгоняют в металл. Дальнейшее внедрение прошивня в заготовку происходит с помощью цилиндрических надставок 4 и 5, диаметр которых меньше диаметра прошивня d . Прошивку заканчивают с оставлением перемычки, толщина которой $h = \frac{1}{3}$ диаметра отверстия d . Таким образом, получают заготовку с несквозным отверстием (с глухой полостью).

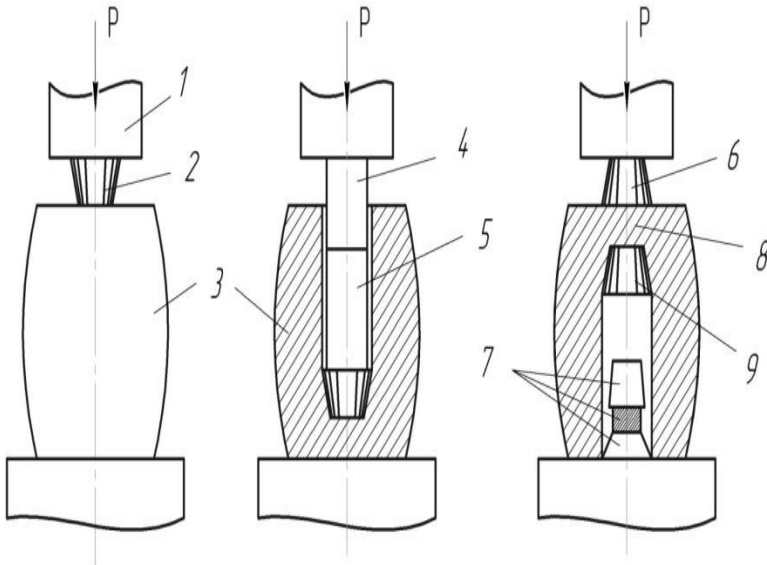


Рис. 17. Схема прошивки сплошным прошивнем:

1 – верхний боек; 2 – основной прошивень; 3 – заготовка; 4, 5 – надставки;
6 – прорезной прошивень; 7 – прошивни и выдра после прошивки

Для получения сквозного отверстия заготовку с углублением кантуют на 180°. Далее устанавливают прорезной прошивень 6 меньшим торцом вверх и проводят пробивку отверстия с удалением перемычки и основного прошивня.

В качестве инструмента для прошивки используют прошивни двух видов – сплошные и полые. Полые прошивни применяют на практике для получения отверстий относительно большого диаметра без осадки заготовки.

Средний $D_{\text{ср}}$ и максимальный D_{max} диаметры прошитой сплошным прошивнем заготовки определяют по формулам:

$$D_{\text{ср}} = 1,13 \sqrt{\frac{1}{H} [V + f(H - h)]},$$

$$\text{где } f = \frac{\pi d^2}{4}; V = \frac{\pi D_0^2}{4} H_0; D_{\text{max}} = 1,13 \sqrt{\frac{1,5}{H} [V + f(H - h)]} - 0,5 \frac{\pi D_0^2}{4}.$$

При открытой прошивке рекомендуемое отношение диаметров прошивня к наружному диаметру исходной заготовки

$$\frac{d}{D_0} = 0,3 - 0,6.$$

Рассмотрим векторное поле скоростей при прошивке заготовки (рис. 18). Как видно из рисунка оно неоднородно. Наибольший градиент скоростей течения металла наблюдается под торцом пуансона. В периферийных слоях течение металла вихревое. При прошивке искажается форма исходной заготовки и изменяются ее размеры: несколько уменьшается высота, неравномерно увеличивается наружный диаметр, образуются выпуклость на нижнем торце и вогнутость верхнем торце заготовки. Форма заготовки при открытой прошивке получает тем большее искажение, чем меньше отношение ее исходного диаметра к диаметру прошивня.

Диаметр прошивня d во избежание непредусмотренной осадки заготовки в начале процесса не должен превышать 0,5–0,6 среднего диаметра осаженной заготовки.

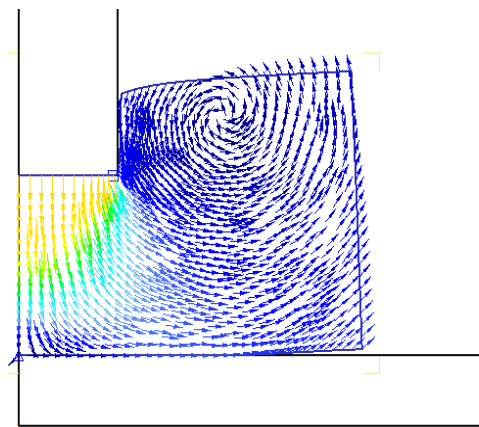


Рис. 18. Векторное поле скоростей при прошивке заготовки

Для относительно низких заготовок применяют прошивку с подкладным кольцом (рис. 19).

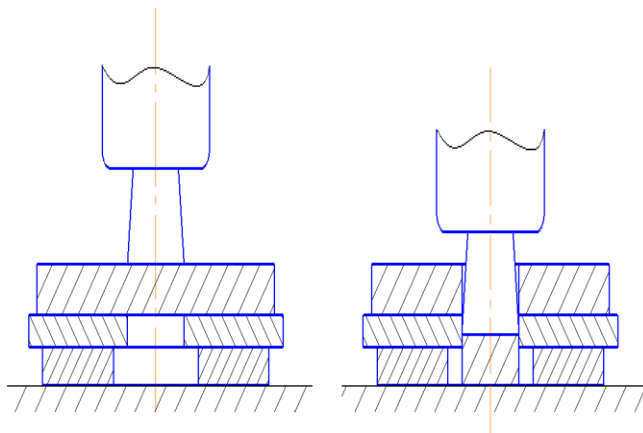


Рис. 19. Схема прошивки низких заготовок с подкладным кольцом

Между прошивнем и отверстием подкладного кольца необходим небольшой зазор.

1.4 Гибка и закручивание

Кузнечные операции гибка и закручивание используют для придания поковке заданной изогнутой и спиралевидной формы. С помощью этой операции получают кронштейны, крюки, хомуты и т.п.

Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади (утяжки) в зоне изгиба (рис. 20). Наружные слои заготовки на участке изгиба подвергаются растяжению, а внутренние – сжатию. В результате прямоугольное сечение приобретает форму неправильной трапеции.

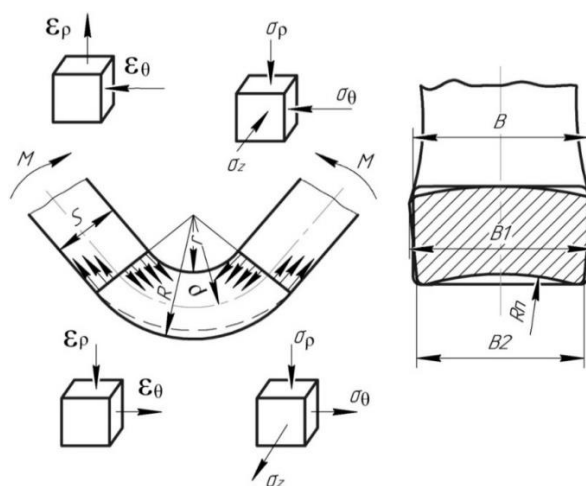


Рис. 20. Искажение формы заготовки при изгибе прямоугольной заготовки моментом

Для уменьшения утяжки в зоне гибки увеличивают толщину заготовки.

Закручивание – это операцияковки, посредством которой одну часть заготовки поворачивают по отношению к другой во-

круг общей оси на определенный угол. Используется при изготовлении поковок типа коленчатых валов.

1.5 Отрубка и кузнечная сварка

Отрубка служит для полного отделения части заготовки по незамкнутому контуру путём внедрения инструмента в заготовку. Основные способы: отрубка с просечкой и отрубка с двух сторон.

Отрубка с просечкой. Нагретую заготовку укладывают на нижний боёк. Сверху устанавливают топор на заданный размер “а”. С помощью верхнего бойка топор погружают в заготовку почти на всю высоту H , оставляя перемычку высотой h , $h = (1 \div 2)b$. Далее под подрубленную часть заготовки заводят квадратную просечку и ударом верхнего бойка разрубают заготовку (рис. 21). Рассматриваемый способ применяют при ковке небольших заготовок.

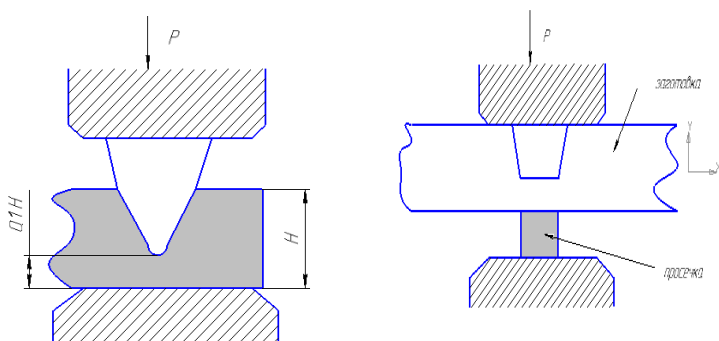


Рис. 21. Схема процесса отрубка с просечкой

Отрубка с двух сторон. Вначале топор внедряют на половину высоты заготовки. Затем заготовку кантуют на 180 градусов и внедряют топор до разделения заготовки. На одном из торцов, как

правило, получается заусенец, который отсекают односторонним топором. Способ используется для толстых и крупногабаритных заготовок.

Кузнечная сварка широко используется для соединения в одно целое отдельных частей заготовки. Место соединения (концы) предварительно нагревают до ковочной температуры, а сварку осуществляют ударами молота.

Основными способами кузнечной сварки являются сварка внахлестку, вразруб, встык.

Сварка внахлест (рис. 22,а) Наиболее распространена. Концы сначала отковывают в виде «лацканов», обеспечивающих большую площадь соприкосновения свариваемых частей. Далее «лацканы» накладывают один на другой и легкими ударами прижимают друг к другу под углом $\sim 30^\circ$. Затем место сварки проковывают сильными ударами молота и отделяют.

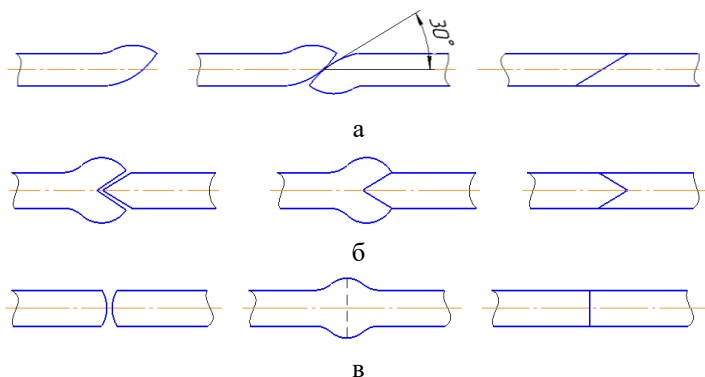


Рис. 22. Способы кузнечной сварки

Сварка вразруб (рис. 22,б) применяется при соединении крупных кусков металла, а также при сварке различных металлов. Один конец высаживают и разрубают, после чего его разводят. Другой конец заостряют на клин. Заостренный конец заводят в разруб второго конца. Место соединения проковывают и отделывают.

При **сварке встык** (рис. 22,в) подготовка коротких концов сводится к либо небольшому закруглению торцов, либо небольшому набору металла. После нагрева и очистки от окалины концы соединяют ударами вдоль оси заготовки по торцам. Место сварки проковывают и отделывают.

1.6 Формирование уступов, выступов, выемок

Для точного распределения металла между отдельными частями поковки производят разметку заготовки. По размеченным местам наносят углубления, называемые наметками. Наметка производится круглыми раскатками небольшого диаметра или двусторонней треугольной (рис. 23,а), односторонней треугольной (рис. 23,б) или фасонной (рис. 23,в) пережимками. Намеченные углубления увеличивают до высоты уступа, выступа или выемки с помощью пережимок.

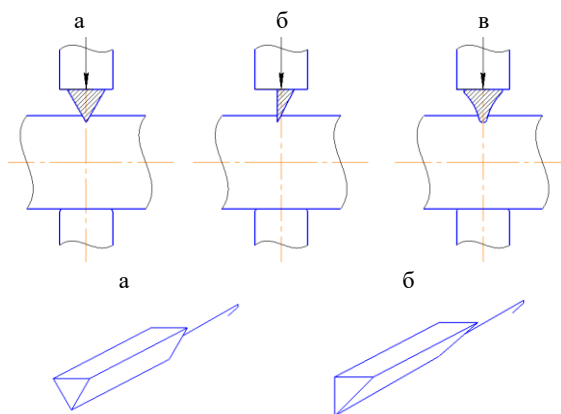


Рис. 23. Схема пережима

Схемы получения уступов для призматических и цилиндрических заготовок показаны на рис. 24-26.

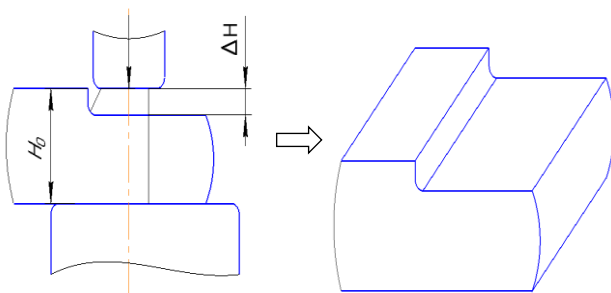


Рис. 24. Схема получения одностороннего уступа для призматических заготовок

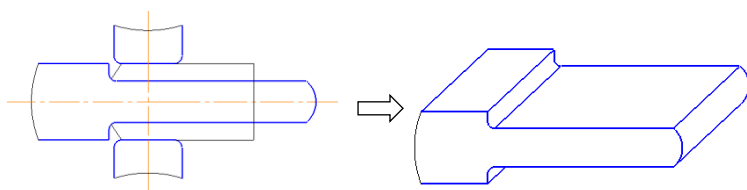


Рис. 25. Схема получения двустороннего уступа для призматических заготовок

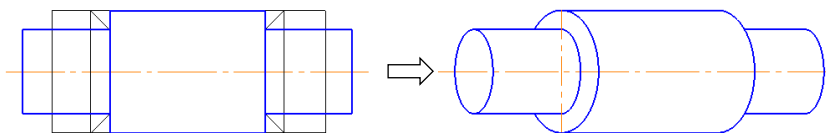


Рис. 26. Схема получения двустороннего уступа для цилиндрических заготовок

Для получения выемки на призматических заготовках ее размечают и делают пережимы, между которыми металл протягивают (рис. 27). При односторонней выемке под верхний боек размещают плоскую раскатку (рис. 27,а). Для двухсторонней выемки раскатки располагают на обоих бойках (рис. 27,б).

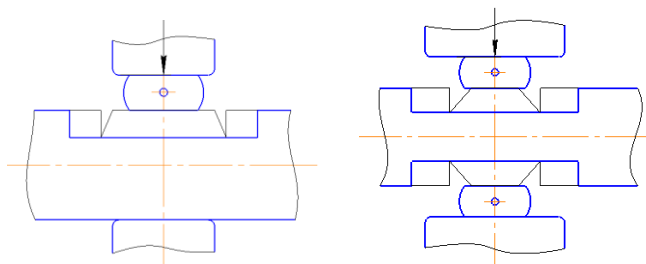


Рис. 27. Схема получения выемок

Для получения поковок, например, поковок коленчатых валов применяют с односторонними выступами передачу – это кузнечная операция по ГОСТ 18970-84, при которой происходит смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки. В результате передачи ось заготовки становится ступенчатой. При этом металл деформируется только на ограниченном участке.

По схеме, изображенной на рис. 28,а, цилиндрическая заготовка с пережимом в месте передачи. Далее на рис. 28,б начало передачи, а на рис. 28,в – передача закончена. При передаче в месте сдвига происходит утяжка. Для ее компенсации увеличивают размеры заготовки.

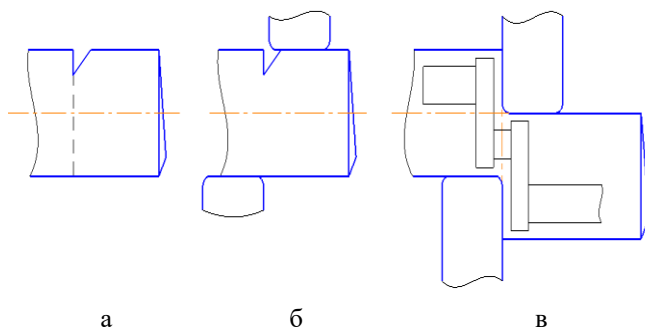


Рис. 28. Схема передачи металла в одной плоскости
при ковке коленчатого вала

1.7 Биллетировка слитка

Биллетировка литого слитка, изображенного на рис. 29,а, заключается в его превращении в цилиндрическую заготовку (рис. 29,б) путем сбивки ребер и устранения конусности. Перед биллетировкой у слитка оттягивают хвостовик, который необходим для перемещения и вращения слитка в процессековки с помощью манипулятора. Обычно в хвостовик оттягивают прибыльную часть слитка, идущую в отход.

После биллетирования отрубают и донную часть слитка. Обжатие граней проводят в плоском и вырезном бойках. Биллетировке подвергают слитки крупных размеров и проводят с одного нагрева. Уков при биллетировке составляет 1,05–1,15.

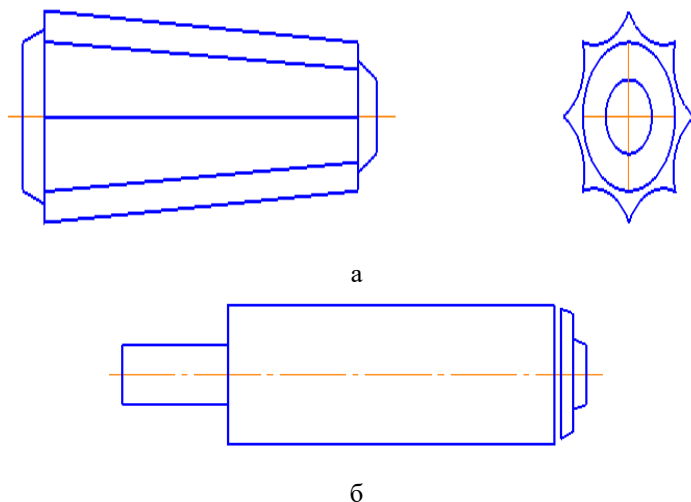


Рис. 29. Биллетировка слитка

Для улучшения качества металла при изготовлении крупных поковок из высоколегированных сталей путем увеличения величини

ны укова металла применяют осадку слитка с хвостовиком в плитах с отверстием с последующей протяжкой (рис. 30). Хвостовик слитка предварительно вставляют перед осадкой в отверстие нижней плиты. Верхняя плита имеет вогнутую рабочую поверхность, обеспечивающая надежное центрирование слитка.

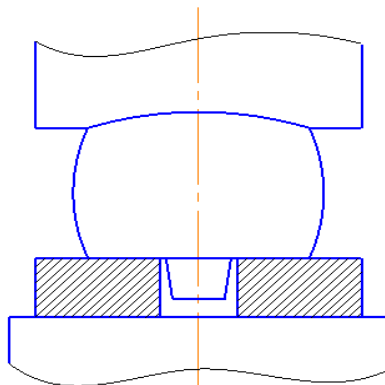


Рис. 30. Схема осадки слитка с хвостовиком

1.8 Проглаживание и правка

Проглаживание и правка заготовок относятся к отделочным операциямковки, применяемым для уменьшения припуска на обработку резанием.

Кузнечную операцию проглаживание применяют для придания поковке гладкой поверхности, доводя ее размеры до установленных допусками, а правку для устранения возникающих в процессековки, при охлаждении или термообработке искривлений поковки или отдельных ее участков.

Проглаживание осуществляют с небольшой степенью деформации легкими ударами молота или короткими ходами прессы при возможно большой подаче заготовки. Проглаживание ведут плос-

кими бойками, причем желательно применение более широких бойков. При возможности заготовку располагают вдоль оси бойков, т.е. перпендикулярно положению, имеющему место при обычном протягивании.

Правку проводят без нагрева и с нагревом поковки. Холодную правку применяют с целью упрощения процесса, однако, она не всегда допустима, так как требует больших усилий, чем горячая. Ее нельзя применять для металлов с пониженной пластичностью.

Примеры правки поволоок с вытянутой изогнутой осью и колец приведены на рис. 31. Длинноосные поковки 1 после протяжки правят с помощью плоских бойков 2, 4 и прокладок 3 (рис. 31,а) и по существу операцией гибки, а кольца правят на оправке 5 верхним бойком (рис. 31,б).

После прошивки поволоку обычно правят, а отверстие калибруют. Торцы правят на плоских бойках, а отверстие калибруют прошивнем бочкообразной формы, который прогоняют через отверстие.

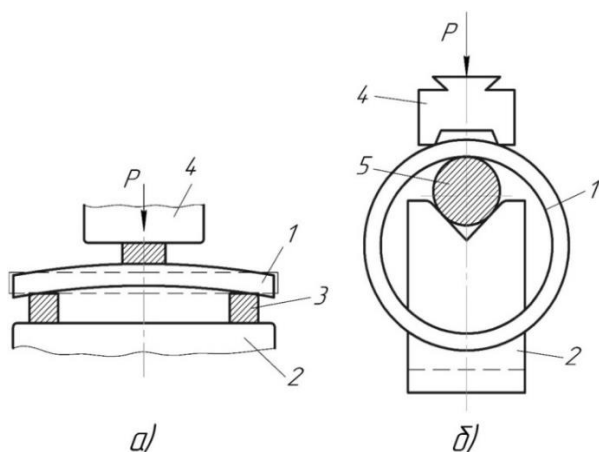


Рис. 31. Схемы правки длинноосных (а) и кольцевых (б) поволоок:

1 – поковка; 2 – нижний боек; 3 – прокладка;
4 – верхний боек; 5 – оправка

1.9 Показатели деформации при ковке

При ковке для определения степени деформации поковки, обеспечивающей получение высоких механических свойств металла, в качестве основного критерия используют коэффициент уковки K

$$K = \frac{F_0}{F_k} = \frac{L_k}{L_0},$$

где F_0 и F_k – площади поперечных сечений заготовки до и после начала операции, L_0 и L_k – длина заготовок до и после операции. Так как $F_0 > F_k$, то коэффициент уковки $K > 1$.

Так как ковка крупных поволоков производится за несколько операций, например, несколько переходов протяжки, то величина общей уковки определяется как произведение величин уковки за каждую технологическую операцию.

$$K_{\Sigma} = \frac{F_0}{F_1} \cdot \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{F_2}{F_3} \cdot \dots \cdot \frac{F_{n-1}}{F_n} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n,$$

где n – число операций, $F_1, F_2, \dots, F_n$ площади поперечных сечений в 1, 2, ..., n операции.

Учитывая, что в процессековки поволоков применяются различные технологические операции: биллетирование, осадка, протяжка, раскатка на оправке и др., то величина K рассчитывается отдельно для каждой операции.

Осадка цилиндрической заготовки

$$K = \frac{F_k}{F_0} = \frac{D_k^2}{D_0^2} = \frac{H_0}{H_k},$$

где H_0 и H_k – исходная и конечная высоты заготовки.

В качестве D_k берут средний диаметр заготовки после осадки, определяемый из условий постоянства объема.

$$D_K = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_K}} = D_0 \sqrt{K} \text{ Величина } K \text{ при протяжке}$$

$$K = \frac{F_0}{F_K} = \frac{L_K}{L_0},$$

протяжке на оправке

$$K = \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_K^2 - d_K^2}, \quad K = \frac{t_0}{t_K},$$

где D_0, d_0, D_K, d_K – наружные и внутренние диаметры заготовки и поковки;

t_0 и t_K – исходная и конечная толщина заготовки.

Коэффициент уковки при раздаче на оправке определяется отношением площадей продольных сечений полой заготовки и поковки, равным отношению среднего диаметра поковки $D_{срп}$ к среднему диаметру заготовки $D_{срз}$

$$K = D_{срп} / D_{срз}.$$

На практике при ковке слитков из углеродистых сталей $K_\Sigma = 2,5 - 3$, из сортового проката $K_\Sigma = 1,5 - 2,0$, при биллетировке $K_\Sigma = 1,1 - 1,2$, раскатке на оправке $K_\Sigma = 1,6 - 1,8$, протяжке на оправке $K_\Sigma = 1,6 - 2,0$. Если поковку изготавливают за несколько раскаток, протяжек, то для первого прохода берут большие величины, для последующих – меньшие величины. Для ответственных поволоков $K > 10$.

Ковкость металла во многом зависит от скорости деформации $\dot{\epsilon}$. При осадке средняя скорость деформации $\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\Delta t}$, где Δt – время деформации $\Delta t = \frac{\Delta H}{V}$, V – скорость верхнего бойка.

При ковке распространена оценка линейных деформаций коэффициентами высотной деформации $K_H = \frac{H_0}{H_K}$ по высоте, $K_L = \frac{L_K}{L_0}$ по длине (удлинение) и $K_B = \frac{B_K}{B_0}$ по ширине (уширение). Коэффици-

циенты K_H и K_B используют для расчета операций осадки и разгонки. K_L – это коэффициент укова.

Для расчета деформаций при ковке могут быть использованы логарифмические деформации

$$e_H = \ln \frac{H_0}{H_K} = \ln K_H, e_L = \ln \frac{L_K}{L_0} = \ln K_L, e_B = \ln \frac{B_K}{B_0} = \ln K_B$$

и относительные деформации

$$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_K}{H_0}, \varepsilon_h = \frac{h_K - h_0}{h_K}, \varepsilon_B = \frac{B_K - B_0}{B_K}.$$

1.10 Контрольные вопросы

1. Перечислите основные технологические операции свободнойковки.
2. Почему ковку называют свободной?
3. Назовите основные способы осадки.
4. В чем преимущества осадки на подкладных кольцах?
5. Сущность процесса осадки путем разгонки.
6. Как исправить бочкообразную форму осаженной заготовки?
7. В каких случаях проводят осадку заготовок?
8. Дайте определение операции «высадка».
9. Нарисуйте схему разгонки полотна крупногабаритного диска.
10. Как называется технологическая операция, заключающаяся в удлинении заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения.
11. Назовите основные способы протяжки.
12. В каком способе протяжки получают поковки круглого сечения?
13. Какой способковки применяют при изготовлении пустотелых поволоков: цилиндров, оружейных стволов, барабанов?

14. Название кузнечной операции, посредством которой в заготовке получают глухую полость?
15. Опишите схему образования отверстий в заготовках
16. Перечислите инструмент для образования отверстий.
17. Сущность кузнечной операции гибка заготовок.
18. Что происходит с поперечным сечением при гибке?
19. Перечислите основные способы кузнечной сварки.
20. Какой способ сварки применяют при соединении крупных кусков металла?
21. Дайте определение кузнечной операции «биллетировка».
22. Для каких поковок применяют операцию «передача»
23. Приведите схемы образования уступов, выступов, выемок на поковках.
24. Перечислите способы отрубки.
25. В чем отличие прошивки от пробивки отверстий?
26. Как получить круглую поковку из квадратной заготовки?
27. Схема получения уступов на цилиндрических заготовках.
28. Как и для чего производят передачу металла при ковке.
29. Когда применяют кузнечную операцию закручивания.
30. Особенности процесса раскатки кольцевых заготовок.
31. Дайте определение коэффициента укова.
32. Как рассчитать величину укова за несколько технологических операций?
33. Записать формулу для расчета коэффициента укова при протяжке и осадке
34. Что описывают относительные и логарифмические деформации при ковке?
35. Когда необходимо учитывать скорость деформации при ковке?
36. Величина укова на практике при ковке углеродистых сталей?
37. Записать формулы для определения коэффициентов деформации по высоте, длине и ширине.

38. Какие кузнечные операции относят к вспомогательным, а какие к отделочным?
39. Приведите схемы приемов гибки поковок.
40. Как исправить кривизну заготовок при осадке?
41. Приведите схемы приемов скручивания поковок

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ

Разработка технологических процессовковки включает следующие основные этапы:

- составление чертежа поковки;
- расчет размеров заготовки;
- разделение исходных материалов на мерные заготовки;
- определение типа оборудования;
- нагрев и охлаждение заготовок;
- выбор температурного интервалаковки.

2.1 Составление чертежа поковки

Составление чертежа поковки производят на основании чертежа готовой детали. На размеры детали устанавливают припуск на обработку резанием, назначают допуск наковку и, в случае необходимости, напуски в соответствии с ГОСТами.

Припуском называется слой металла, подлежащий удалению обработкой резанием для получения требуемых размеров детали по чертежу готовой детали и для получения требуемого качества ее поверхности.

Припуск приковке обычно назначают по всей поверхности поковки. При обработке резанием в припуск должны попадать все дефекты наружного слоя поковки: зажимы, неровности, трещины. Чем выше качество заготовки, тем можно меньше назначать припуск.

На величину припуска влияет большое количество факторов:

- вид исходного материала: слиток, прокат;
- сорт материала: углеродистые стали, легированные стали;
- качество поверхности исходных заготовок;
- конфигурация, форма и размеры поковки по длине и поперечному сечению;
- вид применяемого инструмента: плоские бойки, вырезные бойки;
- квалификация кузнеца;
- вид оборудования: молот, пресс.

Допуском называется допустимое отклонение в размерах поковки, обусловленное невозможностью изготовления ее с абсолютно точными размерами. Величина допуска равна разности между наибольшими и наименьшими размерами поковки.

Напуск – это увеличение припуска, упрощающее конфигурацию заготовки в виду невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали. Напуск дает упрощениековки поковки.

На рис. 32 показана схема расположения припусков и допусков на поковке, где H – чистовой размер детали, δ_{min} – наименьший припуск на размер H , Δ – поле допуска.

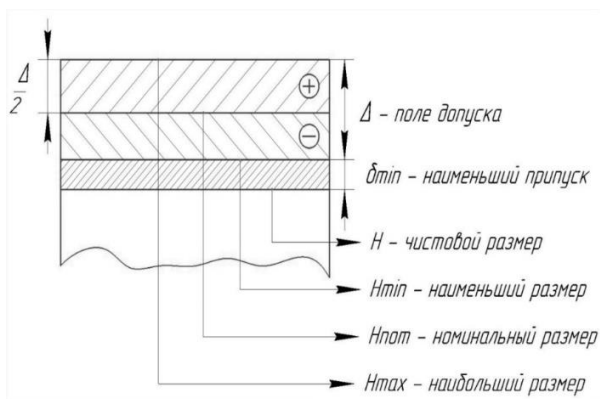


Рис. 32 Схема расположения припусков и допусков

Номинальный припуск на размер Н

$$\delta = \delta_{min} + 0,5\Delta.$$

Наименьший размер поковки

$$H_{min} = H + \delta_{min}.$$

Номинальный размер поковки

$$H_{nom} = H + \delta_{min} + 0,5\Delta.$$

Наибольший размер поковки

$$H_{max} = H + \delta_{min} + \Delta.$$

Припуски на обработку и допуски на ковку из углеродистой и легированной стали регламентированы: ГОСТ 7829-70 для поковок, изготавливаемых на молотах; ГОСТ 7062-90 для поковок, изготавливаемых на прессах.

При подсчете объема заготовки необходимо добавить к минимальному размеру поковки некоторую часть допуска (обычно половину допуска), чтобы вести расчет по номиналу, а допуск ставится в плюс и минус, чтобы соответствовала схеме на рис. 32.

Размеры готовой детали, увеличенные с каждой стороны на величину назначенного по ГОСТам припуска для механической обработки, являются с номинальными размерами поковки. Эти размеры проставляют над размерными линиями поковки, и под ними в скобках проставляют чистовой размер детали. Верхнее и нижнее отклонения указывают справа от номинального размера поковки. Поковка вычерчивается сплошными нормальными линиями по номинальным размерам, а внутри контура поковки тонкими сплошными линиями контуры готовой детали. Между тонкими сплошными линиями размеры ставят тогда, когда в поковках есть напуск.

При простановке размеров всегда необходимо проставлять общую длину поковки и на поковке оставлять участок с непро-

ставленной длиной, получаемый как разность между проставленными размерами. Таким участком является участок, отковываемый в последнюю очередь. Размеры нужно ставить от одной или ограниченного числа баз. Следует избегать цепочки размеров. Для поковок типа валов с уступами за базу размеров принимают торец участка с наибольшим диаметром.

Пример назначения припусков и допусков на деталь круглого поперечного сечения по соответствующей таблице ГОСТ 7829–89 показан на рис. 33.

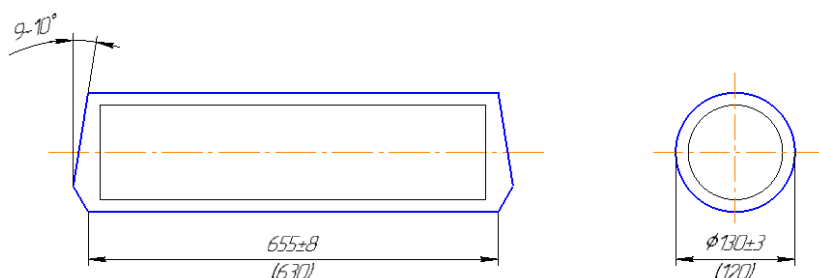


Рис. 33. Поковка гладкая круглая (молот)

Номинальные расчетные размеры поковок допускается округлять до чисел, оканчивающихся на 5 или 0. Номинальные размеры округляют в меньшую сторону, если они оканчиваются на 1, 2, 6 и 7 и в большую сторону – при окончании на 3, 4, 8 и 9. Например: 397 → 395; 418 → 420.

Таким образом, по чертежу детали проставляются припуски, проверяется возможностьковки без напусков. В итоге получаем чертеж поковки.

Припуски и допуски устанавливают по таблицам ГОСТов в зависимости от формы и размеров поковки с учетом уступов 1, выступов 2, буртов 3, выемок 4 и фланцев 5 (рис. 34). В связи с этим в ГОСТах поковки делятся на группы и в каждой группе поковок в зависимости от размеров назначают припуски и допуски.

Уступ – это участок поковки 1 с меньшим поперечным сечением, чем смежный с ним участок 2. Для поволоков валов величина уступов выражается полуразностью диаметров смежных участков.

Выступ – это участок поковки 2 с большим поперечным сечением, чем смежный с ним участок 1.

Выемка – это участок поковки 4, диаметр или сторона которого меньше диаметра или сторон двух смежных с ним участков 3 и 5.

Бурт – это неконцевой участок поковки 3 увеличенного поперечного сечения, у которого длина равна или меньше $0,3D$ или $0,3B$ (D – диаметр бурта, B – большая сторона прямоугольника).

Фланец – это концевой участок вала 5 увеличенного диаметра или стороны прямоугольника, у которого $e \leq 0,3D$ или $e \leq 0,3B$.

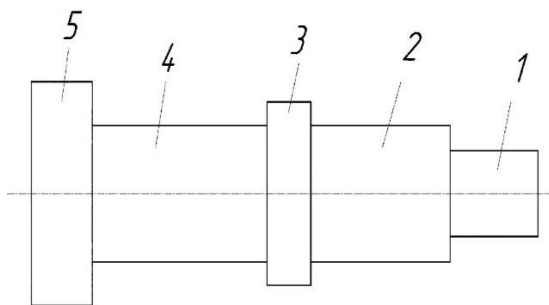


Рис. 34. Поковка типа длинномерного вала с уступом 1, выступом 2, буртом 3, выемкой 4 и фланцем 5

Напуски регламентируются ГОСТами, в которых есть таблицы на наименьшие размеры выемки, выступа, бурта и фланца. Образование уступов возможно при ковке только при определенной разнице диаметров и при достаточной длине.

Уступы и выемки не обжимают, если разность их диаметров и диаметров участков меньше определенной величины и, если у них малая длина.

Для буртов при их малой длине дают допуск по длине, для концевых фланцев этот напуск больше.

Пример назначения основных и дополнительных припусков, а также предельные отклонения для поковки распределительного вала, изготавливаемой ковкой на прессе показан на рис. 35.

Основные припуски и предельные отклонения выбирают по таблице 3, дополнительные – по таблице 6 ГОСТ 7062–90.

Рассматриваемая поковка имеет более двух уступов, следовательно, основным принимается сечение наибольшего диаметра 900 мм. Зная диаметры и длины элементов поковки можно построить расчетный чертеж поковки без учета напусков (рис. 35).

При проектировании поковок важное значение имеет получение такой формы поковок, при которой заметно упрощается технологияковки.

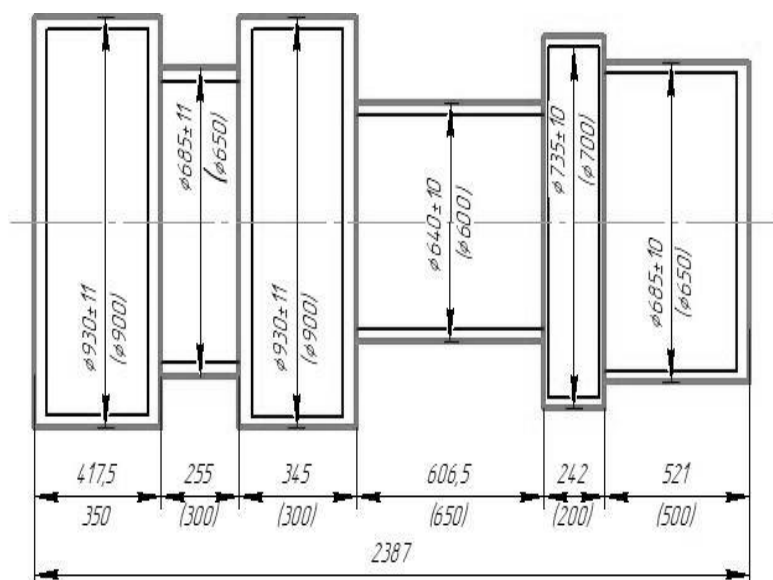


Рис. 35. Расчетный чертеж поковки распределительного вала

Получение рациональной формы поковки связано с профессиональным назначением напусков, особенно при конструировании

длинномерных валов с фланцами 1, выемками 2), буртами 3, уступами 4 (рис. 36).

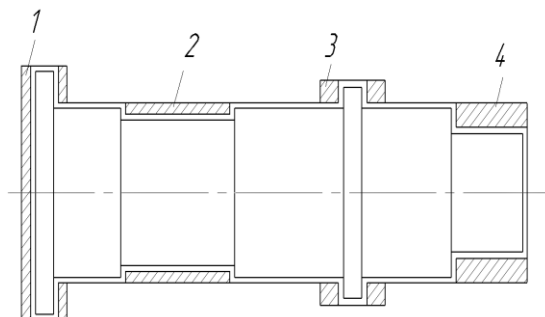


Рис. 36. Схема установления напусков на поковку типа вала

2.2 Расчет размеров и массы исходной заготовки

Расчет размеров и массы исходной заготовки производят по чертежу и номинальным размерам поковки. Если поковка имеет сложную форму, то при подсчетах ее разделяют на ряд отдельных объемов так, чтобы каждый из них представлял простейшую геометрическую фигуру: цилиндр, конус, призму, шар или часть его и т.п. Таким образом, объем поковки определяют суммированием ее элементов, то есть $V_{\text{пок}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$.

Размеры и масса расчетной заготовки зависят от вида исходной заготовки (слиток или прокат, ковкая заготовка), состава и типа оборудования (молот, пресс) и технологической схемыковки. Массу заготовки определяют через ее объем.

При ковке поковок из прокатных заготовок объем исходной заготовки $V_{\text{исх}}$ определяется как сумма объемов поковки $V_{\text{пок}}$, потеря на угар $V_{\text{уг}}$ и потерь в виде отходов $V_{\text{отх}}$, то есть

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{уг}} + V_{\text{отх}}.$$

На практике потери металла на угар $V_{\text{уг}}$ составляют в среднем 2-3% от массы нагреваемого металла за каждый нагрев и 1,5-2% за каждый подогрев.

Потери металла в виде отхода $V_{\text{отх}}$ на выдру, обрубку концов, обсечку и т.п. зависят от сложности формы поковки. Объем «выдры» принимают равным $1/3$ объема отверстия без учета уклона.

Объем обрубаемых концов заготовки определяют по формулам: для молота $V_{\text{отх}} = 0,23D^3$, $V_{\text{отх}} = 0,33B^2H$; для прессы $V_{\text{отх}} = 0,21D^3$, $V_{\text{отх}} = 0,28B^2H$, где D – диаметр круглой заготовки, H и B – высота и ширина прямоугольного сечения заготовки.

Объем металла заготовки на обсечку $l_{\text{обс}} = 0,04D$, $l_{\text{обс}} = 0,04B$, где $l_{\text{обс}}$ – длина обсечки.

При ковке поковок из слитков

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{сл}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{уг}} + V_{\text{отх}} + V_{\text{дн}} + V_{\text{пр}},$$

где $V_{\text{пр}}$ – объем прибыльной части слитка, $V_{\text{пр}} = (0,2 - 0,25)V_{\text{сл}}$ для углеродистой стали и $(0,25 - 0,3)V_{\text{сл}}$ – для легированной стали.

$V_{\text{дн}}$ – объем донной части слитка, $V_{\text{дн}} = (0,05 - 0,07)V_{\text{сл}}$ – углеродистая сталь и $V_{\text{дн}} = (0,07 - 0,10)V_{\text{сл}}$ – легированная сталь.

$(V_{\text{пр}} + V_{\text{дн}})$ – общий отход равен $(0,25 - 0,32)V_{\text{сл}}$ – углеродистая сталь и $(0,32 - 0,40)V_{\text{сл}}$ – легированная сталь.

Размеры заготовки определяют по-разному при изготовлении поковки из слитка или проката. Определяющими признаками являются масса поковки и марка материала. Если масса поковки не превышает несколько сот килограмм, а материал – углеродистая сталь, то применяют прокат. Если масса поковки $m > 700 - 800\text{кг}$, то применяют слитки.

Размеры заготовки определяют в зависимости от главной формоизменяющей операции при ковке.

Если заготовку подвергают основной операции – протяжке, то сечение исходной заготовки $F_{\text{исх}}$ определяют из условия возможности получения необходимой уковки $F_{\text{исх}} = KF_{\text{пок max}}$, где $F_{\text{пок max}}$ – наибольшее поперечное сечение поковки.

Так при работе со слитками из углеродистой стали для поковок с фланцами и выступами сечение слитка $F_{\text{исх}}$ выбирают по размерам гладкого участка, для которого уков $K \geq 3$ и по фланцу, для которого $K \geq 1,75$.

При ковке из проката, поперечное сечение заготовки выбирают по сортаменту с учетом того, что $K = 1,25$.

Зная размеры поперечного сечения и объем заготовки легко подсчитать и длину заготовки.

По известной площади поперечного сечения $F_{\text{исх}}$ определяется ее диаметр $D_{\text{исх}} = 1,13\sqrt{F_{\text{исх}}}$. Если заготовка квадратная, то $A_{\text{исх}} = \sqrt{F_{\text{исх}}}$.

По сортаменту ГОСТа выбирают заготовку расчетного диаметра. Если нужный диаметр отсутствует, то выбирают ближайшее большее значение. После определения окончательного диаметра находят исходную длину заготовки

$$L_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{исх}}}{F_{\text{исх Гост}}}.$$

Коэффициент выхода годного исходной заготовки определяет экономичность процессаковки и показывает какая часть массы исходной заготовки имеет полезное использование в %

$$K_{B.2} = \frac{V_{\text{пок}}}{V_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 = \frac{m_{\text{пок}}}{m_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 = \frac{V_{\text{пок}}\rho}{V_{\text{исх.заг}}\rho} \cdot 100,$$

где ρ – удельный вес (плотность), $= 7,85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Коэффициент расхода металла показывает, во сколько раз масса исходной заготовки должна превышать массу поковки, чтобы обеспечить ее качество изготовления.

$$K_p = \frac{m_{\text{исх.заг}}}{m_{\text{пок}}}.$$

Другим показателем расхода металла при ковке является коэффициент использования металла *КИМ*. Это позволяет учесть потери металла при механической обработке поковки.

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет.}}}{m_{\text{пок.}}}$$

Заготовками при ковке служат прокат чаще всего круглого и квадратного сечений и слитки.

Слитки получают заливкой жидкого металла в металлические формы, называемые изложницами. Дляковки слитки отливают до 500 тонн. По высоте они имеют форму усеченной пирамиды с расширяющимся кверху сечением (рис. 37).

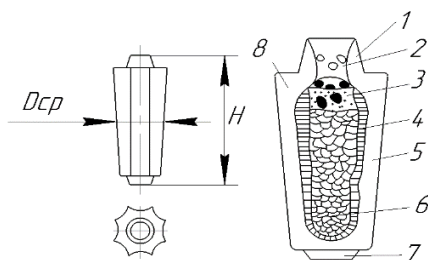


Рис. 37. Слиток дляковки крупногабаритных поковок

Отношение высоты H к среднему диаметру $D_{\text{ср}}$ составляет от 2 до 3. Слитки небольшой массы имеют круглое или квадратное сечение, а более крупные – многогранное поперечное сечение (6, 8, 12 граней). Во избежание появления трещин при охлаждении (нагреве) его грани делают вогнутыми.

Вследствие наибольшей скорости охлаждения в поверхностном слое после заливки жидкого металла образуется тонкий мелкозернистый слой 5. Затем охлаждение замедляется и образуется зона 4, состоящая из вытянутых и перпендикулярных поверхности слитка столбчатых зерен – дендритов. Центральная зона 6 состоит из произвольно ориентированных равноосных зерен. В верхней части слитка располагается прибыльная часть 1 зона усадочной рыхлости 3 и усадочная раковина 2, образуемые вследствие усадки металла в процессе кристаллизации. В нижней части слитка располагается донная часть 7.

Для изготовления поковок используют только среднюю часть слитка, которая составляет 60-80% его общей массы.

Если размеры выбранного слитка не обеспечивают требуемого укова, то берут слиток большего поперечного сечения, чтобы из него можно было изготовить, например, две поковки или остаток будет годен для другой поковки.

Выбор параметров слитков проводят по таблицам, приведенным в справочниках [8,10].

Дляковки на молотах в качестве исходного материала применяют прокат круглого ($5 \div 250\text{мм}$) и квадратного (сторона квадрата $5 \div 250\text{мм}$) сечений, длиной ($2 \div 6\text{м}$), а также блюмы (размер стороны квадрата $140 \div 450\text{мм}$), а также заготовки, откованные на молоте с диаметрами и стороной квадрата 60мм и далее с шагом 20мм до 220мм; заготовки, откованные на прессе с диаметром и стороной квадрата 250мм с шагом 50мм до 500мм [8,10]. Дляковки в основном применяют углеродистые конструкционные и легированные конструкционные, а также высоколегированные, жаропрочные, коррозионно-стойкие стали. Углеродистые стали подразделяют на низкоуглеродистые $\%C < 0,25$, среднеуглеродистые $\%C = (0,25 - 0,6)$ и высокоуглеродистые $\%C > 0,6$.

Низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, низко и среднелегированные стали относятся к высокопластичным материалам.

2.3. Разделение материалов на мерные заготовки

Разделка исходных материалов является ответственной операцией в технологическом процессе изготовления поковок, определяющей расход металла, трудоемкостьковки, вероятность появления брака. Способ разделки выбирают в зависимости от марки материала, размеров заготовки, качества поверхности и производительности.

Прокатный и прессованный материал на мерные заготовки обычно разделяют на ножницах, хладноломах, пилах, электроискровой или анодно-механической резкой, рубкой на молотах и прессах.

Резка на ножницах – наиболее дешевый, производительный и распространенный способ разделки прутков 1 сдвигом на мерные заготовки 6 (рис. 38).

Рабочими деталями ножниц являются нижний верхний и нижний ножи 3 и 4, упор 5 и прижим 2. В верхнем положении подвижного ножа 3 и прижима 2 пруток подается до регулируемого упора 5. Далее опускается прижим и силой Q прижимает пруток к неподвижному ножу 4. Затем подвижный нож надавливает на пруток, в результате чего происходит отделение заготовки длиной $L_{\text{заг}}$.

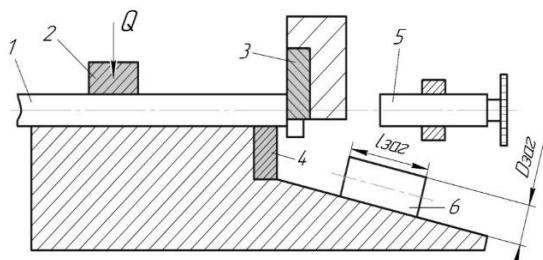


Рис. 38. Схема резки заготовок на ножницах

Рабочими деталями ножниц являются нижний верхний и нижний ножи 3 и 4, упор 5 и прижим 2. В верхнем положении подвижного ножа 3 и прижима 2 пруток подается до регулируемого упора 5. Далее опускается прижим и силой Q прижимает пруток к неподвижному ножу 4. Затем подвижный нож надавливает на пруток, в результате чего происходит отделение заготовки длиной $L_{\text{заг}}$.

Прутки режут как в холодном, так и в горячем состоянии. Подогрев осуществляют для снижения усилия резки и устранения образования торцевых трещин. Мелкие заготовки режут сдвигом в холодном состоянии, крупные в горячем состоянии.

Резка металла происходит в три стадии: упругой, пластической и скола (рис. 39).

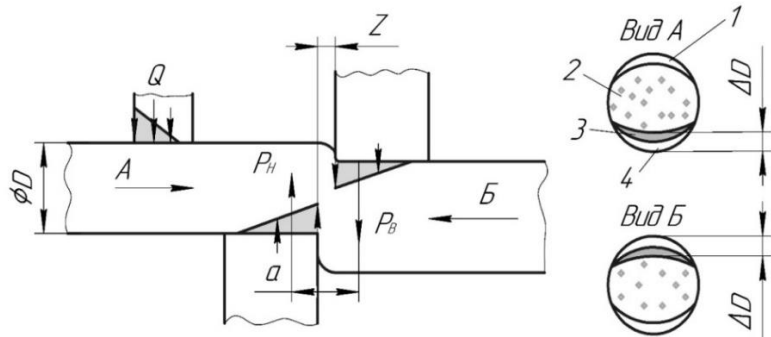


Рис. 39. Схема действующих сил и напряжений при резке круглого прутка на ножницах

В момент надавливания ножей на пруток, в нем возникают упругие деформации. Пара сил P_H и P_B образует момент $M = P_B a$, который стремится повернуть и изогнуть пруток. Повороту прутка препятствует сила прижима N . В момент, когда напряжение от действия ножей больше сопротивления пластической деформации металла, происходит их внедрение в пруток и по месту реза появляются «блестящие» пояски. Внедрение ножей сопровождается утяжкой соседних с ножами участков металла.

При достижении максимально возможной для данного материала величины внедрения ΔD образуются встречные трещины.

При оптимальной величине зазора Z противоположные трещины сходятся, образуя сплошную, но криволинейную поверхность.

Если зазор меньше оптимального, то направления трещин не сходятся. Образуется новая трещина, соединяющая концы двух предыдущих с образованием козырьков (рис. 40). При ковке это приводит к складкам. Большой зазор при резке мягкой стали вызывает значительную утяжку и заусенцы.

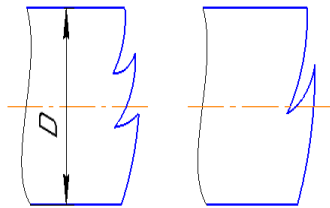


Рис. 40. Дефект при резке сдвигом в виде «козырьков»

Причиной повышенного скоса торца под углом является большой угол поворота прутка к моменту скола вследствие недостаточной силы прижима N .

Усилие резки зависит от сопротивления срезу $\sigma_{\text{ср}}$, определяемое площадью поперечного сечения прутка F и свойствами разрезаемого материала. Так как чистого среза не происходит, то вводят коэффициент учитывающий несовершенство среза $K = 1,7$, который учитывает притупление ножей. Тогда $P = KF\sigma_{\text{ср}}$.

Так как сопротивление срезу $\sigma_{\text{ср}}$ для многих сталей в справочной литературе приводится редко и поэтому его определяют через предел прочности $\sigma_{\text{ср}} \approx 0,8\sigma_B$. Тогда $P = 1,4F\sigma_B$.

При резке круглого проката (рис. 41) радиус ножа определяют по формуле $R = 0,5d + l$, где d – диаметр прутка, l – плюсовой допуск проката

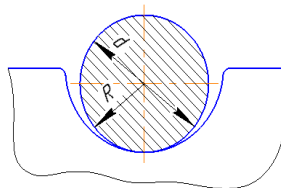


Рис. 41. Схема выбора радиуса ножа

Резка дисковыми и ленточными пилами круглого и профильного проката 5 с размерами по толщине до 500 мм на ножовочно-отрезном станке (рис. 42), состоящим из гидропривода 1,

редуктора 2 и электродвигателя 3, обеспечивает большую точность отрезаемой заготовки 5 любой длины, определяемой положением упора 7, чем другие виды разделки прутков, а также качественный срез по торцу.

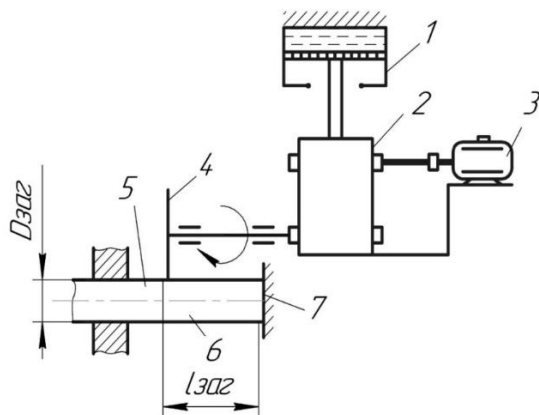


Рис. 42. Схема резки прутков дисковыми пилами на ножовочно-отрезном станке

Ломка на холодноломе. Такой способ разделки заготовок более производителен, требует меньших затрат энергии, позволяет контролировать качество металла по виду излома.

Холоднолом представляет собой устройство (рис. 43), состоящее из двух верхних подвижных опор 3,5, установленных на расстоянии l_0 и нижней неподвижной опоры (ломателя) 1, между которыми размещается надрезанный пруток 2, подлежащий ломке. Под действием силы P вблизи надреза 4 возникает изгибающие растягивающие напряжения, которые концентрируясь и возрастая в опасном сечении, выше предела прочности металла σ_B , обеспечивают ломку прутка почти без пластической деформации.

Форма и глубина ΔH надреза влияют на процесс ломки. Чем глубже и уже надрез меньшего радиуса, тем больше $\sigma_{изг}$ и успешнее ломка.

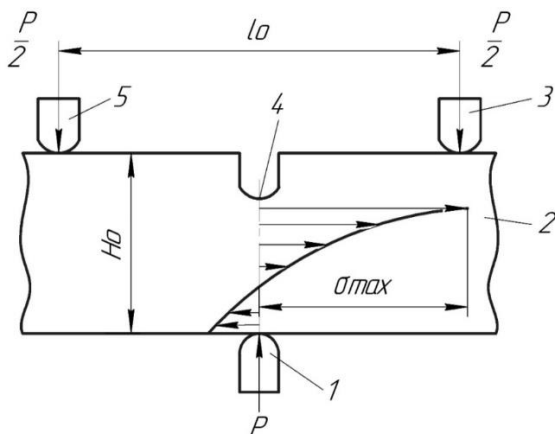


Рис. 43. Схема работы хладнолома

Надрез выполняют пилами или газовыми резаками.

$$\text{Величина } \sigma_{\text{изг}}^{\text{max}} = 2\sigma \sqrt{\frac{\Delta H}{r}},$$

где $\sigma < \sigma_T$ – напряжение при отсутствии концентрации напряжений.

Глубина надреза ΔH обычно принимается равной $(3 \div 8)\%$ толщины прутка H_0 или рассчитывается по формуле

$$\Delta H = K^3 \sqrt{H_0},$$

где $K = (1 \div 2)$. Для хрупкой стали $K \rightarrow 1$.

Усилие P можно определить по схеме расчета на изгиб балки с опорами по обе стороны оси нагрузки, которая принимается сосредоточенной.

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W_{\text{изг}}}, M_{\text{изг}} = \frac{P}{2} \frac{l_0}{2} \frac{1}{4},$$

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{Pl_0}{4W_{\text{изг}}} \rightarrow P = \frac{4W_{\text{изг}}\sigma_{\text{изг}}}{l_0},$$

где $W_{\text{изг}}$ – момент сопротивления изгибу, $\sigma_{\text{изг}}$ – предел прочности изгиба.

При таком расчете получают завышенные результаты, так как не учитывается влияние надреза. Если ввести поправочный коэффициент на надрез $\beta = (0,4 \div 0,9)$ и заменить $\sigma_{\text{изг}}$ на σ_B , то усилие ломки

$$\text{круглые прутки } P = \frac{0,4\beta D^3 \sigma_B}{l_0};$$

$$\text{квадратные прутки } P = \frac{0,7\beta H_0^2 \sigma_B}{l_0}.$$

Электроискровая резка материала основана на коротком замыкании электрических проводников, при котором металл разрушается пульсирующим током (рис. 44).

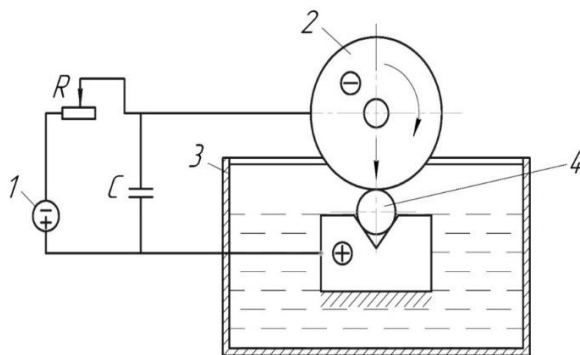


Рис. 44. Схема установки для электроискровой резки

Разрезаемый прут (анод) 4 и дисковый инструмент (катод) 2 погружены в резервуар 3, заполненный жидким диэлектриком (керосин). Источник постоянного тока 1 заряжает через сопротивление R и конденсатор C , который периодически разряжается через искровой промежуток между прутком и диском. Электрические заряды следуют один за другим сплошным каскадом по всей поверхности сближения с обрабатываемым металлом. Сила тока в импульсе доходит до нескольких сотен ампер, а мощность им-

пульса достигает десятков киловатт. При этом развивается температура до 10000°C , что вызывает взрывное плавление, сгорание и испарение металла в зоне реза.

Диск для резки изготавливают из графита, латуни, меди. Разрезаемая толщина металла не более 120 мм. Способ обеспечивает высокую точность и качество реза, а также возможность резания материала любой прочности. К недостаткам можно отнести низкую производительность процесса и стойкость инструмента.

Анодно-механическая резка основана на электрической дуге. Схема резки показана на рис. 45 с разрезаемым прутком (анод) 4 и вращающимся дисковым инструментом (катод) 2, подключенных к генератору постоянного тока 1. Сближение диска и прутка приводит к электрической дуге, которая проходит в среде рабочей электропроводной жидкости, поливаемой через сопло 3. При непрерывном дуговом разряде происходит разогрев металла до $4000 \div 5000^{\circ}\text{C}$, что достаточно для его расплавления. Окружная скорость вращения стального диска толщиной до 2 мм $15 - 25 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, поступательная скорость $\sim 0,3 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$. Рабочая жидкость – раствор жидкого стекла.

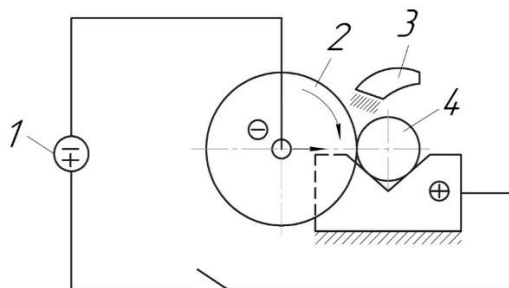


Рис. 45. Схема анодно-механической резки

Этот способ, как и предыдущий имеет низкую производительность, его применяют для резки высокопрочных и труднодеформируемых, жаропрочных материалов с толщиной до 300 мм.

Расчет расхода металла при разделке на одну поковку определяется из выражения:

$$c_{\text{рм}} = \frac{\pi D_{\text{зг}}^2}{4} \rho \left(\frac{L_{\text{зг}}}{m} + \frac{l_{\text{обр}} + l_{\text{н}}}{n} + l_{\text{пр}} \right),$$

где $D_{\text{зг}}$ – диаметр заготовки;

ρ – плотность штампуемого металла;

$L_{\text{зг}}$ – длина заготовки;

m – число поковок, получаемых из одной заготовки;

$l_{\text{обр}} = (0,3 \dots 0,5)$ – длина торцевого обрезка, см;

$l_{\text{н}} = \frac{L_{\text{зг}}}{2}$ – расчётная длина некратности;

$l_{\text{пр}}$ – длина прорезки, равная толщине пильного диска или ширине резца;

При резке на пресс-ножницах $l_{\text{пр}} = 0$;

n – число поковок, получаемых из одного прутка,

$$n = \frac{(L_{\text{р}} - l_{\text{обр}} - l_{\text{пр}} - l_{\text{н}})}{L_{\text{зг}}}.$$

Расчётная длина немерного проката $L_{\text{р}}$ определяется по формуле:

$$L_{\text{р}} = \frac{L_{\text{б}} + L_{\text{м}}}{2 + K},$$

где K – коэффициент, учитывающий влияние укороченных штанг, допускаемых в каждой партии

$$K = \frac{\Pi}{100} \frac{L_{\text{б}} - L_{\text{ук}}}{L_{\text{м}} + L_{\text{ук}}}.$$

В примечаниях к соответствующим ГОСТам на сортамент проката [8] указывается наибольшая $L_{\text{б}}$ и наименьшая $L_{\text{м}}$ длина прутков. Кроме того, указывается количество Π % укороченных штанг длиной не менее $L_{\text{ук}}$. Показателем экономичности раскроя является коэффициент раскроя, определяемый по формуле:

$$K_{\text{р}} = \frac{n L_{\text{зг}}}{m L_{\text{р}}} * 100.$$

2.4 Определение типа пресса или молота

Тип пресса или молота дляковки выбирают в зависимости от массы заготовки. Небольшие и средние поковки изготавливают под молотами, крупные – на прессах. Молот или пресс выбирают по операции, требующей наибольшего усилия. Осадка требует большего усилия, чем другие операции, протяжка, прошивка, раскатка осуществляются при меньших усилиях.

При выборе пресса рассчитывают усилие осадки

$$P = pF.$$

где F – средняя величина контактной площади поперечного сечения осажённой заготовки

$$F = (\pi D_1^2)/4.$$

Средний диаметр D_1 после осадки, определяют из условия постоянства объема

$$D_1 = D \sqrt{\frac{H}{H_1}},$$

где D – диаметр заготовки;

H – высота заготовки.

Удельное усилие осадки определяют по выражению

$$P = \sigma_T(1 + 0,17D_1/H_1), \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести металла при температурно-скоростных условияхковки;

H_1 – высота заготовки после осадки, определяемая величиной степени деформации.

При горячей деформации вместо σ_T часто применяют при ковке крупных поволоков предел прочности металла при растяжении σ_B с учетом скоростного коэффициента W . При ковке на прессе $W = 1 - 1,2$, при ковке на молоте $W = 2 - 3$. Формула (1) примет вид

$$p=W\sigma_b(1+0,17D1/H1). \quad (2)$$

При осадке крупных поковок удельные усилия по формуле (1) оказываются меньше, так как температура внутри них выше, чем на поверхности, по которой устанавливается величина σ_b . В связи с этим в формулу вводят масштабный коэффициент ψ , табл. 1.

Таблица 1. Значения масштабного коэффициента ψ

Масса слитка, т	0,5 6,0 20 50 100
ψ	0,80 0,70 0,60 0,55 0,50

Формула принимает вид

$$p = \psi\sigma_T(1+0,17D1/H1). \quad (3)$$

Выбор молота для осадки производят по работе деформации за последний удар. При предыдущих ударах контактная площадь и сопротивление деформированию ниже, чем при последнем ударе. Учитывая, что степень деформации за последний удар должна быть большой, выбирают по диаграммам рекристаллизации либо докритические степени деформации $\varepsilon = 0,025-0,06$ либо послекритические $\varepsilon = 0,12 - 0,15$, т.к. в противном случае будет слишком велика масса падающих частей молота. Работу деформации за последний удар можно определить по формуле:

$$A=p\varepsilon V, \quad (4)$$

где A – работа деформации;

p – удельное усилие в конечный момент;

ε – степень деформации за последний удар;

V – объем заготовки.

Значение p находят по выражению (1) с учетом увеличения предела прочности σ_b на величину скоростного коэффициента W .

Работа деформации должна соответствовать энергии удара молота L , определяемой по формуле

$$L = \frac{A}{\eta_{\text{уд}}}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{уд}}$ – коэффициент полезного действия удара, равный 0,8.

Согласно ГОСТ 9752-61 энергия удара молота определяется по выражению

$$L = 2,5 \cdot 10^3 G, \quad (6)$$

где G – масса падающих частей.

Приравнявая формулы (5) и (6) получим

$$2,5 \cdot 10^3 G \eta_{\text{уд}} = p \epsilon V. \quad (7)$$

Из формулы (7) можно получить выражение для расчета массы падающих частей с учетом (2) и $W = 3$

$$G = 1,5 \cdot 10^{-3} \sigma_{\text{в}} (1 + 0,17 D_1/H_1) \epsilon V.$$

При выборе массы падающих частей молота по заданным начальным размерам заготовки D_0 и H_0 можно использовать диаграммы (рис. 46).

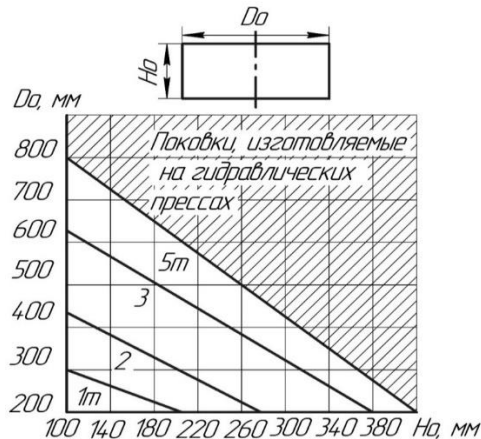


Рис. 46. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота

Количество ударов молота для осадки:

$$n = \frac{A_n}{\eta_y L},$$

где η_y – коэффициент полезного действия удара;

$$\eta_y = 0,8;$$

Полная работа деформации при ковке на молоте определяется по формуле, предложенной М.В. Сторожевым:

$$A_n = \sigma_b W \left[\ln \frac{H}{H_1} + \frac{1}{9} \left(\frac{D_1}{H_1} - \frac{D}{H} \right) \right] V.$$

Выбор пресса Р при протяжке осуществляют по формуле

$$P = p \cdot v \cdot F,$$

где F – площадь заготовки, находящаяся под бойками, $F = \ell \cdot B$;

ℓ – величина подачи;

B – ширина заготовки после данного обжима;

v – коэффициент, учитывающий форму бойков (v=1 – плоские, v=1,25 – круглые);

p – удельное усилие.

$$p = \sigma_T \cdot \left(1 + 0,17 \frac{\ell}{h} \right),$$

где h – высота заготовки после данного обжима.

Максимального усилия, как правило, требует первый обжим исходной заготовки. Работа деформации за один обжим

$$A = P \cdot H_0 \cdot \epsilon_{0H},$$

где H_0 – высота заготовки перед обжимом, ϵ – деформация обжатия на данном обжиме.

Расчет веса падающих частей молота при протяжке аналогичен расчету для процесса осадки. Для облегчения расчетов исполь-

зуют диаграммы для выбора массы падающих частей молота при ковке валов с уступами (рис. 47).

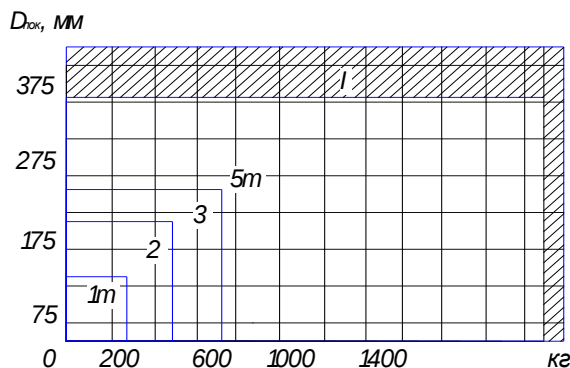


Рис. 47. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота:

I – поковки, изготавливаемые на гидравлических прессах

Удельное усилие открытой прошивки сплошным прошивнем можно найти по выражению

$$p = \sigma_T \left(2 + 1.1 \ln \frac{D_{\text{ср}}}{d} \right),$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр заготовки, d – диаметр сплошного прошивня.

2.5 Нагрев и охлаждение заготовок

Одной из основных операций процессаковки является нагрев заготовок, обеспечивающий снижение сопротивления деформированию и повышение пластичности. При нагреве происходит перекристаллизация металла, растворяются карбиды, ускоряются диффузионные и релаксационные процессы. Основные способы нагрева заготовок: пламенный, электрический и в расплавленных солях.

Нагрев заготовок осуществляют в однокамерных, двухкамерных печах или в печах с выдвижным подом, внутри которых сжигают топливо (рис. 48). Такой способ нагрева получил название пламенный. Внутри печи имеется рабочее пространство – это камера 1. Отсюда название печи. Пол камеры называют подом 2, потолок сводом 3. В стенках печи располагаются горелки или форсунки 4. В своде также имеется отверстие, связанное с трубой, через которую выходят продукты сгорания. В качестве топлива используют природный газ, нефть, мазут. Основной способ нагрева заготовок при пламенном нагреве – излучение тепла от свода 7 и в меньшей степени конвекции – передачи тепла движущимися раскаленными газами. Заготовки 8 загружают в камеру через открытое окно 6. В этот момент заслонка печи 5 поднята вверх.

В камерных печах нагревают мелкие и средние заготовки, а также слитки. В печах с выдвижным подом производят нагрев слитков, их подогрев и повторный нагрев.

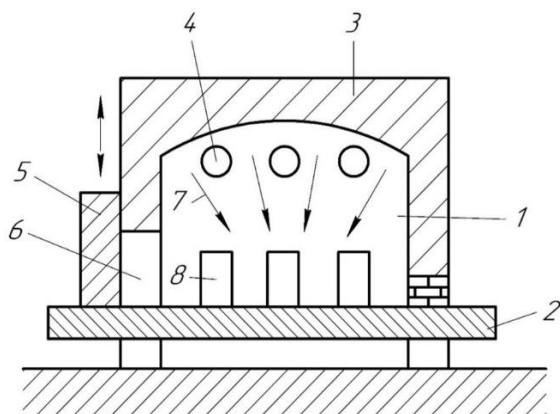


Рис. 48. Камерная печь

Основные способы электрического нагрева одинаковых по форме заготовок: индукционный, контактный и в печах электросопротивления. При индукционном нагреве заготовку-проводник 1

размещают внутри индуктора 2, подключенного к источнику переменного тока промышленной частоты (рис. 49). Магнитное поле, создаваемое индуктором, распространяется на заготовку, индуктируя в поверхностном слое вихревые токи Фуко. Эти токи вызывают ее разогрев в соответствии с законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R \tau,$$

где Q – количество выделяющего тепла;

I – сила тока;

R – сопротивление заготовки;

τ – время нагрева.

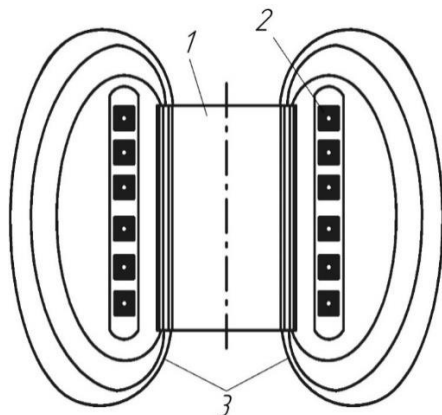


Рис. 49. Схема индукционного нагрева заготовок

Достоинства индукционного нагрева – быстрота нагрева, уменьшение образования окалины, компактность печи. Недостатки – значительная стоимость, трудность нагрева фасонной заготовки, неравномерность температурного поля по поперечному сечению.

При электроконтактном нагреве через относительно длинную заготовку 1, закрепленную в водоохлаждаемых контактах, под-

ключенных к вторичной обмотке трансформатора 3, пропускают электрический ток большой величины, при прохождении которого заготовка активно разогревается по закону Джоуля-Ленца, рис. 50. Для регулирования величины напряжения, подводимого к заготовке, первичная обмотка трансформатора 4 состоит из нескольких секций.

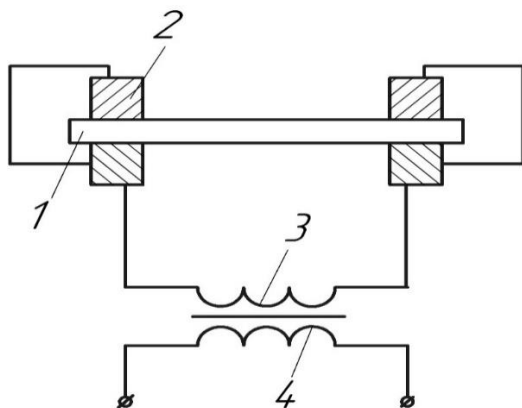


Рис. 50. Схема электроконтактного нагрева

Достоинства электроконтактного нагрева – быстрота нагрева, недостатки – неравномерность нагрева по длине, низкая стойкость контактов.

Принцип нагрева в печах сопротивления аналогичен нагреву в пламенных печах. Достоинства – точность регулирования температуры, возможность нагрева в защитной атмосфере, недостатки – печи менее экономичны, чем пламенные.

Достоинства нагрева в расплавах солей – равномерность нагрева по объему, отсутствие окалины, недостатки – трудности автоматизации нагрева, взаимодействие солей с металлом заготовки.

Режимы нагрева заготовок в печах могут быть одно, двух, трех и многоступенчатые.

Одноступенчатый нагрев применяют для заготовок малого сечения (рис. 51).

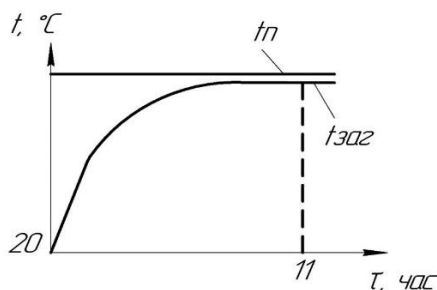


Рис. 51. Диаграмма одноступенчатого нагрева заготовок

Режим нагрева заготовок большого сечения, а также заготовок из низкопластичной высоколегированной стали может быть двух и трехступенчатым. При двухступенчатом нагреве на первом этапе производится ускоренный нагрев горячего слитка, а в зоне 2 – выдержка при ковочной температуре (рис. 52,а). Время нагрева для углеродистой стали в каждой ступени делится примерно пополам. В случае нагрева легированной стали время нагрева на первой ступени выбирают равным $T_1 = (2/3)T$, а для второй ступени $T_2 = (1/3)T$, где T – общее время нагрева. При трехступенчатом нагреве (рис. 52,б) в зоне 1 производится медленный нагрев «холодного» слитка до 700 °C (начало фазовых превращений). При этой

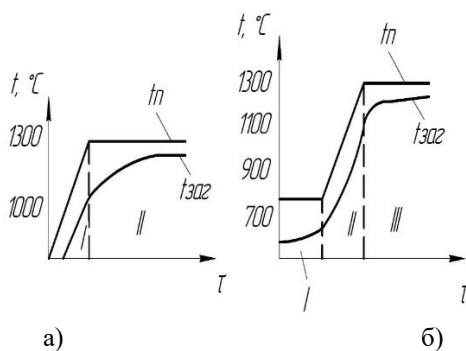


Рис. 52. Диаграмма двухступенчатого (а) и трехступенчатого (б) нагрева стального слитка

температуре сталь обладает пониженной пластичностью при низких температурах, а температурный градиент в этом интервале имеет максимальное значение. Поэтому первый этап должен проходить медленно. В зоне 2 ускоренный нагрев при высоких температурах, а в зоне 3 выдержка при ковочной температуре, обеспечивающая выравнивание температуры по всему сечению заготовки.

На продолжительность нагрева влияет форма и размеры заготовки, требуемая температура нагрева, физические свойства металлов (ρ – плотность, коэффициент теплопроводности $\lambda \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$, удельная теплоемкость $C \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$, коэффициент температуропроводности $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, δ – относительное удлинение (пластичность), α – коэффициент теплопередачи), условия нагрева. Для ориентировочного подсчета времени нагрева τ можно использовать следующие формулы

$$\tau = \frac{Q}{\alpha(t_{\text{п}} - t_{\text{заг}})F_{\text{нпз}}},$$

где Q – тепло, подводимое к заготовке; $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{заг}}$ – температура печи и заготовки. Для стали $t_{\text{п}} = 1300 - 1350^\circ\text{C}$, $F_{\text{нпз}}$ – площадь нагреваемой поверхности заготовки.

При нагреве заготовок и слитков небольших сечений используют формулу Доброхотова

$$\tau = \alpha K D_{\text{заг}} \sqrt{D_{\text{заг}}},$$

где $D_{\text{заг}}$ – диаметр или меньшая сторона заготовки, м;

K – эмпирический коэффициент. Для углеродистых и низколегированных сталей $K = 12,5$, инструментальных сталей $K = 25$.

α – коэффициент укладки заготовок на поду (рис. 53).

Основные виды дефектов при нагреве перед ковкой – это образование окалин, обезуглероживание, недогрев, перегрев и пережог.

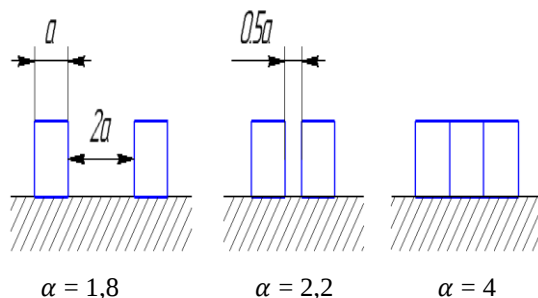


Рис. 53. Схема укладки заготовок на поду печи

Образование окалины – это результат химического соединения металла с кислородом воздуха. Скорость ее образования зависит прежде всего от температуры металла, состава и температуры печных газов, времени выдержки в печи, химического состава. Образование окалины принято называть угаром металла.

При нагреве мелких заготовок угар составляет 1-2% от массы металла, слитков 3%. Уменьшить потери на угар можно скоростным нагревом металла, нагревом в печах с безокислительной атмосферой, применением защитных покрытий.

Обезуглероживание поверхностного слоя происходит при высоких температурах нагрева на глубину 0,2–2 мм. Безокислительная атмосфера предотвращает образование дефектного слоя.

Недогрев наблюдают при недостаточной выдержке заготовок в печи или заниженной температуре нагрева, что снижает пластичность металла и вызывает большие внутренние напряжения, что приводит к образованию трещин.

Перегрев – это явление быстрого роста зерна при нагреве выше допустимых температур. Перегрев может быть исправлен отжигом или дополнительной деформацией.

Пережог – это окисление границ зерен (иногда до оплавления) при нагреве до температуры, близкой к точке плавления, это приводит к потере пластичности металла и он становится хрупким. Переженные заготовки являются окончательным браком.

Охлаждение заготовок и поковок послековки влияет на качество металла, также как при их нагреве. При быстром охлаждении заготовок и поковок могут появиться в металле поверхностные трещины. В легированных сталях есть опасность появления поверхностной закали, трудно устранимой при отжиге. Если температура в поковке опускается до критического интервала фазовых превращений, то них возникают структурные напряжения

В практике нашли применение следующие способы охлаждения. Поковки из конструкционных сталей диаметром до 300 мм охлаждают на воздухе в штабелях. Более крупные поковки и слитки охлаждают вместе с печью. Поковки из легированной стали охлаждают в ящиках с песком. Чем больше габариты, масса поковки и более легированная сталь, тем медленнее проводят ее охлаждение. Одним из способов уменьшения скорости охлаждения является укутывание поковок асбестовым одеялом.

Режимы охлаждения средних поковок из хромоникельмолибденовой стали диаметром до 300 мм и высоколегированных поковок диаметром около 1000 мм приведены на рис. 54, а и б соответственно.

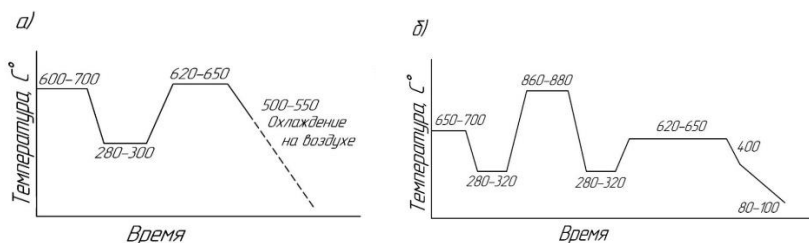


Рис. 54. Режимы охлаждения

К термообработке сталей при ковке относят промежуточный, гомогенизирующий и полный отжиг. Промежуточный отжиг применяется тогда, когда крупные поковки диаметром свыше 500 мм изготавливают из слитков за несколько нагревов. Он снимает остаточные напряжения. Отжиг проводят при 850 С. Затем следует вы-

держка и охлаждение до 700 С. Далее выдержка и нагрев под ковку. Гомогенизирующий отжиг используют при нагреве слитков до 1200 С для выравнивания структуры по всему объему. Полный отжиг реализуют при нагреве поковок до 770-800 С. Затем выдержка и медленное охлаждение.

2.6 Температурный интервалковки

Деформация при ковке с учетом нагрева металла делится на горячую при $T > 0,7T_{\text{пл}}$ и неполную горячую при $T = (0,5 \div 0,7)T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления металла по Кельвину.

При горячей деформации в деформируемом металле происходит полная динамическая рекристаллизация и формируется полностью рекристаллизационная структура. При неполной горячей деформации динамическая рекристаллизация происходит не полностью, в результате в металле образуется смешанная структура (рекристаллизационная и нерекристаллизационная), отличающаяся высокой степенью неоднородности в поковке.

Для конкретного сплава поковки выбирают температурный интервал ΔT ковки, т.е. температуру начала $T_{\text{н}}$ и конца на основании диаграмм пластичности, состояния и рекристаллизации.

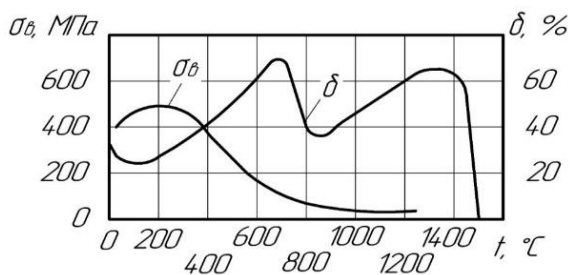


Рис. 55. Диаграмма пластичности для стали 15

Из диаграммы пластичности для стали 15 видно, что при температуре выше 1470 °С вблизи температуры плавления находится зона хрупкости металла – зона пережога. Поэтому верхнюю границу температурного интервалаковки сталей устанавливают в диапазоне 1100-1350 °С, что ниже температуры, при которой происходит перегрев металла. При температурах 750-850 °С сопротивление деформированию (σ_B) остается примерно постоянным, а пластичность (δ) уменьшается, что объясняется фазовыми превращениями, происходящими в металле. Сталь обладает высокой пластичностью только при нагреве до температур 850 – 900 °С.

Таким образом, при нагреве большинства высокопрочных и конструкционных сталей до 1000 °С они становятся высокопластичными, оказывая незначительное сопротивление деформации.

На рис. 56 представлена диаграмма состояния железно-углеродистых сталей, из которой видно, что наиболее пластичной структурой является структура аустенита.

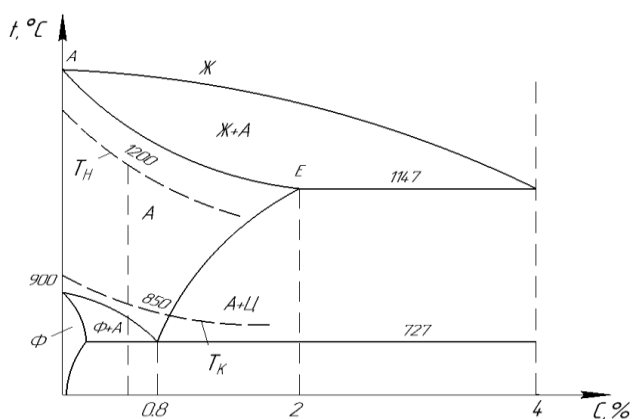


Рис. 56. Диаграмма состояния железно-углеродистых сплавов

При наличии двухфазной структуры пластичность снижается. У низкоуглеродистых и углеродистых сталей при температуре

1100-1200 °С структура чисто аустенитная. По высокой пластичности температуру 1200 °С можно принять за верхний предел температурного интервалаковки T_n . нижний предел температурного интервала T_k должен лежать выше температур фазовых превращений.

При установлении нижнего пределаковки необходимо учитывать массу поковки, наличие или отсутствие последующей термообработки и способ охлаждения. Например, при большой массе поковки и высокой температуре окончанияковки поковка будет остывать медленно и размельченное деформацией зерно может снова вырасти. При малой массе поковки (до 100 кг) поковка остывает быстрее и зерно остается измельченным.

Схема дробления зерен при протяжке, рекристаллизации и роста зерен показана на рис. 57. Заготовка имеет зерна 1, выросшие при высокой температуре нагрева. Во времяковки зерна 2 дробятся. Далее происходит рекристаллизация 3. В концековки получаем зерна 4, выросшие при высокой температуре концаковки.

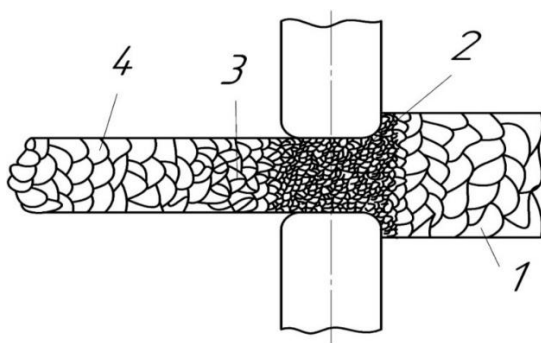


Рис. 57. Схема дробления, рекристаллизации и роста зерен в стали при ковке

При правильном выборе температуры концаковки в раздробленных зернах металла происходит рекристаллизация, но величина зерна не увеличивается, поковка получается мелкозернистой.

Одновременное влияние температуры и степени деформации на размер зерна поковки представлено на диаграмме рекристаллизации углеродистых сталей, приведенной на рис. 58. Из диаграммы видно, что при $\varepsilon < \varepsilon_1$ зерно практически не увеличивается, где ε_1 — порог рекристаллизации. При каждой температуре имеется порог рекристаллизации ε_1 . В диапазоне деформаций $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ зерно резко увеличивается, поэтому деформацию в этом диапазоне называют критической (заштрихованные области). Например, для стали 50 критические степени деформации лежат в пределах от 6 до 8% для температур 800-900С. Размер зерна зависит от температуры окончания пластической деформации. Чем выше температура, тем больше зерно.

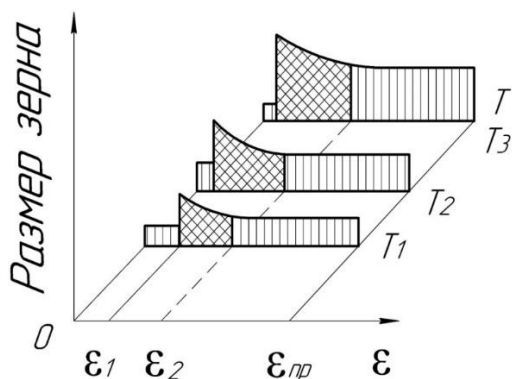


Рис. 58. Типовая диаграмма рекристаллизации углеродистых сталей

Качественную картину процессаковки стальной поковки можно проследить по графику: температура — величина зерна, приведенному на рис. 59.

У стали с среднестатистической величиной зерна в точке А дальнейшее повышение температур в области фазовых превращений перлита в аустенит при нагреве приводит к измельчению зерна в точке Б. Далее зерно увеличивается вследствие собирательной

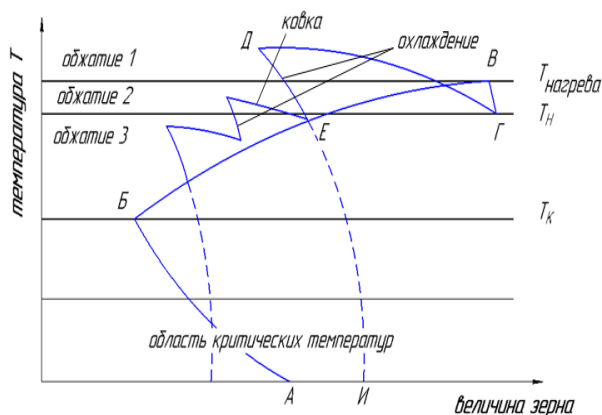


Рис. 59. Характер изменения температуры металла и величины зерна в стальной поковке при ее ковке и остывании

рекристаллизации к моменту достижения температуры нагрева под ковку в точке В. При переносе нагретой заготовки от печи к молоту в процессе ее остывания зерно продолжает расти, точка Г.

Первое обжатие заготовки приводит к измельчению зерна в точке Д и некоторому повышению температуры вследствие перехода энергии пластической деформации в тепловую. В период между двумя обжатию сталь частично рекристаллизуется при одновременном понижении температуры из-за естественной потери тепла, точка Е.

Если на этом ковка поковки заканчивается, то рост зерна замедляется до точки И. Таким образом, оно крупнее, чем в исходном состоянии в точке А.

Если продолжить ковку, то для следующего обжатия будет характерна структура металла, отличающая от предыдущей более мелким зерном и более высокой температурой.

В табл. 2 приведены температурные интервалы дляковки цветных металлов.

**Таблица 2. Температурные интервалы дляковки
цветных металлов**

Металлы	$T_{нач}, ^\circ\text{C}$	$T_{кон}, ^\circ\text{C}$
медные	750 – 850	600 – 700
титановые	930 – 1150	800 – 900
алюминиевые	470 – 500	350 – 400

2.7 Технологические схемыковки

Технологическая схемаковки – это последовательность технологических операций, в результате выполнения которых получают поковку требуемого качества.

Выбор предварительных, основных, вспомогательных и отделочных операций, необходимых для изготовления той или иной поковки, зависит от многих факторов. К их числу прежде всего относятся форма, размеры, масса и материал поковки, требования к ее качеству, обусловленные техническими условиями, вид и размеры заготовки дляковки, вид производства и размер партий поковок, уровень технического совершенства кузнечного производства на данном предприятии и др. Выбор основных операцийковки и последовательности их осуществления значительно облегчаются при использовании классификации поковок (табл. 3). Для каждой группы и подгруппы поковок рекомендуются основные операцииковки и необходимый инструмент.

При реализации выбранной схемыковки осуществляют ряд технологических переходов, в результате выполнения которых получают поковку требуемой конфигурации. При этом решение по выбору способа реализации схемыковки может быть многовариантным.

Целесообразно выбирать кузнечные операции по технологическому процессуковки аналога. Поэтому, прежде чем приступить к разработке технологического процессаковки, необходимо рас-

смотреть ковку аналогичных поковок. Если нет аналогов, то целесообразно использовать классификацию поковок с указанием операций для изготовления различных групп поковок, представленную в табл. 3. Примерами поковок отдельных групп являются следующие группы.

Группа I – поковки штоков, осей, валов, колонн, цапф, роторов и т.п.

Группа II– поковки плит, пластин, кубиков штампов, шпинделей и т.п.

Группа III– поковки коленчатых валов и т.п.

Группа IV– поковки дисков, фланцев, колес, шестерен, и т.п.

Группа V– поковки колец, бандажей и т.п.

Группа VI– поковки барабанов, полых валов и т.п.

Группа VII– поковки крюков, скоб, днищ и т.п.

Технологическая схемаковки поковок во многом зависит от размеров поковок и применяемого оборудования. Номенклатура поковок для машиностроения, получаемых ковкой на молотах, чрезвычайно многообразна. На молотах изготавливают поковки гладких, ступенчатых и коленчатых валов, фланцев, дисков, зубчатых колес, рычагов и т.д. В качестве исходных заготовок применяют прокат, пресованные прутки, кованный металл.

Таблица 3. Классификация кованых поковок

Группа поковок	Характеристики поковок, входящих в группы	Подгруппы поковок	Способы изготовления поковок, входящих в подгруппы	Условия применения вырезных бойков	Условия применения плоских бойков или верхнего плоского и нижнего вырезного
1	2	3	4	5	6
I	Цилиндрические сплошные гладкие и с уступами; поковки штоков, осей, валов, колонн, цапф, роторов	1	Протяжка	При обеспечении необходимой уковки без осадка, вырез бойков вмещает сечение	–
		2	Протяжка и осадка		
		3	Протяжка и пережим уступов		

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
				слитка. Не требуется разделитель- ный инстру- мент	При примене- нии раздели- тельного ин- струмента
		4	Протяжка, осадка и пе- режим		
		5	Протяжка, осадка, пере- жим уступов и передача		
		6	Протяжка и осадка с об- разованием выступа		
II	Прямоугольного сече- ния гладкие и с уступа- ми: поковки плит, пла- стин, штамповых кубиков, вкладышей, шпинделей, дышел, баб молотов	1	Протяжка	—	При обеспече- нии необходи- мой уковки без осадки
		2	Протяжка и осадка		
		3	Протяжка, осадка и пе- режим усту- пов		
		4			
III	Смешанного сечения сплошные с уступами и с расположением от- дельных частей в одной, двух, трех и более плос- костях	1	Протяжка и пережим уступов		
		2	Протяжка, осадка и пе- режим усту- пов		
		3	Протяжка, пережим уступов и передача		
		4	Протяжка, осадка, пере- жим уступов и передача		
		5	Протяжка, пережим уступов, пе- редача и скручивание		

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
		6	Протяжка, торцовая осадка, пережим уступов, передача и скручивание		
IV	Цилиндрически полые гладкие и с малыми уступами: поковки дисков, фланцев, колес, муфт, шестерен	1	Протяжка, осадка и прошивка	Перед рубкой дается протяжка и вырез бойков вмещает сечение поковки	Перед рубкой дается только обжим ребер и граней
		2	Протяжка, осадка с уступом и прошивка		
V	Цилиндрические полые, гладкие, малым отношением длины к размеру сечения: поковки бандажей, колец	1	Протяжка, осадка, прошивка и раскатка		
		2	Протяжка, осадка, прошивка, протяжка с оправкой, раскатка	Перед рубкой заготовки дается значительная протяжка и вырез бойков вмещает сечение поковки	Перед рубкой заготовки производится только обжим ребер и граней
VI	Цилиндрические полые гладкие и с большими уступами при большом отношении длины к размеру сечения: поковки барабанов, полых валов, цилиндров	1	Протяжка, осадка, прошивка, раскатка и протяжка с оправкой		
		2	Протяжка, осадка, прошивка, раскатка, протяжка с оправкой и пережим уступов		
		3	Протяжка, осадка, пережим уступов, прошивка и протяжка с оправкой		
VII	С криволинейной осью: поковки крюков, бугелей, скоб	—	Различные способы ковки и гибка	В зависимости от операций и условий, указанных для других групп	

На прессах изготавливают крупные поковки дисков валов, колес, роторов. Ковкой на прессах получают штамповые кубики, колонны прессов, бабы молотов, прокатные валки прокатных станков, плиты, корпуса котлов и т.д. В качестве заготовок часто используют слитки.

Рассмотрим пример изготовления поковки «трехколенчатый вал», показанной на рис. 60. Три колена вала развернуты по отношению друг другу на угол 120°.

Ковку проводят на молоте с массой падающих частей 3 т. Применяют круглую или квадратную заготовку. После нагрева до ковочной температуры ее протягивают в зоне колен на прямоугольное сечение 210X125 мм, соответствующее сечению колес вала. Затем размечают прокованный прямоугольный участок и проводят сначала пережим колен и шеек, а затем передачу колена II с помощью накладок.

Следующей операцией является ковка шеек *a*, *b*, *c* на диаметр 135 мм и обрубка полуфабриката от основной поковки. Далее отковыывают цилиндрический фланец, пережимают шейку у фланца и куют шейку *d* на диаметр 115 мм. Заключительной операцией является скручивание шейки «с» с помощью вилки для поворота колена III и шейки *b* для поворота колена I. При закручивании колена II зажимают бойками молота, и шейки *b* и *c* разворачивают в разные стороны.

Рассмотрим пример изготовления стальной поковки «диск турбины», показанной на рис. 61. Ковку ведут на гидравлическом прессе усилием 30 МН. После первого нагрева до температурыковки 1200 °С оттягивают цапфу, проводят биллетировку и отрубают донную и прибыльную часть литого слитка. После второго нагрева до ковочной температуры выполняют осадку заготовки до высоты 750 мм, затем открытую прошивку сплошным прошивнем и пробивку отверстия диаметром 250 мм прорезным прошивнем. Далее заготовку снова нагревают и осаживают сначала до высоты 620 мм, а затем после кантовки на 180° – до высоты 500 мм. После

четвертого нагрева полотно диска разгоняют до окончательного размера 240 мм узким бойком, используя нижнюю поворотную плиту. После разгонки полотна калибруют отверстие диаметром 250 мм и окончательно отковывают ступицу, осаживая ее до высоты 320 мм.

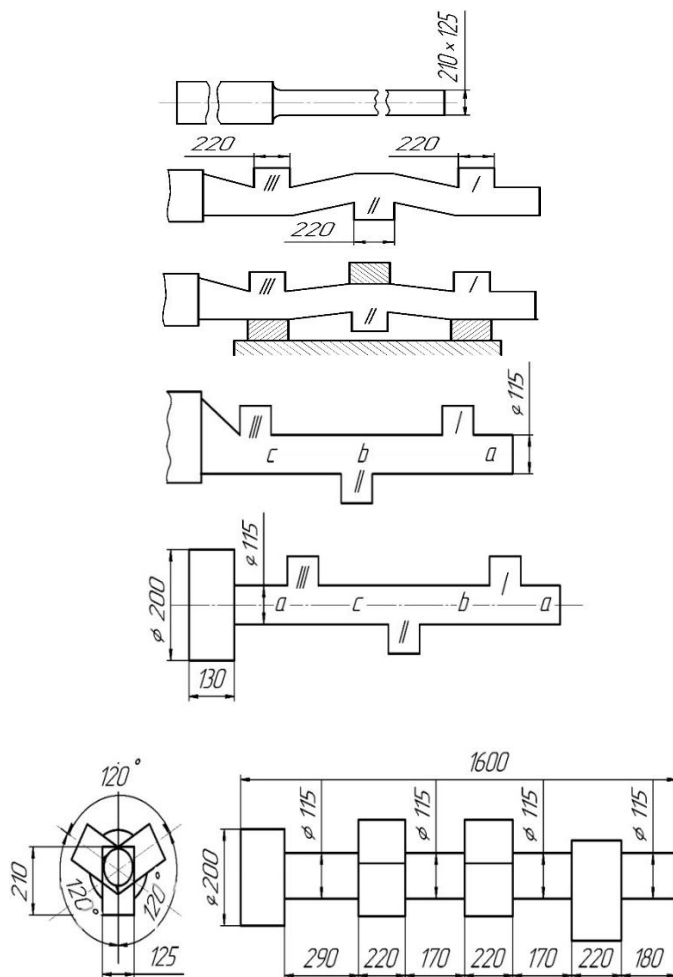


Рис. 60. Последовательность технологических операций при ковке коленчатого вала на молоте

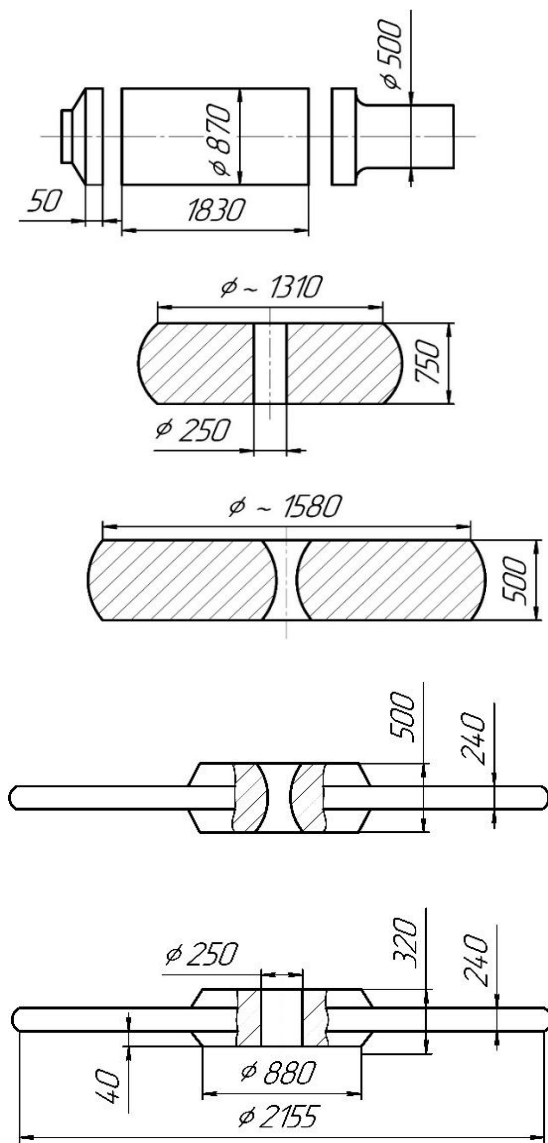


Рис. 61. Последовательность технологических операций при ковке диска турбины на прессе

2.8 Контрольные вопросы

1. Дайте определение терминов «уступ», «выступ» и «выемка».
2. Как составить чертеж поковки на основании чертежа готовой детали?
3. Дайте определение припуска, допуска и напуска.
4. Методика определения размеров и массы заготовки.
5. Что показывает коэффициент расхода металла?
6. Из чего складывается объем поковки?
7. Определяющие признаки при выборе размеров заготовки.
8. Конструктивные элементы поковки «бурт» и «фланец».
9. Назовите базу размеров для поволоков типа валов с уступами.
10. Что выбирают в качестве исходного металла при ковке на молотах?
11. Перечислите отходы металла в отходы?
12. Чему равны потери металла на угар?
13. Перечислите основные способы разделки материала?
14. Особенности резки заготовок на мерные части на ножницах.
15. Основные стадии резки металла на ножницах.
16. Как выбрать оптимальный зазор между ножами?
17. Когда рекомендуется использовать при резке дисковые и ленточные пилы?
18. Принцип работы холоднолома.
19. Сущность электроискровой и анодно-механической резки металлов.
20. Особенности расчета расхода металла при резке
21. Назовите основные типы оборудования при ковке.
22. Как определить средний диаметр заготовки после осадки?
23. При каких условиях назначают величину предела текучести или прочности?
24. методика выбора типа молота.
25. Как рассчитать число ударов молота при осадке?
26. Особенности выбора типа молота при протяжке.

27. Перечислите основные дефекты при нагреве металла перед ковкой

28. Какую функцию играет нагрев заготовок?

29. Как осуществляют нагрев заготовок?

30. Особенности устройства камерной печи.

31. Виды режимов нагрева заготовок в печах.

32. Основные способы нагрева заготовок в печах?

33. Особенности двухступенчатого и трехступенчатого режимов нагрева заготовок.

34. Какие факторы влияют на продолжительность нагрева заготовок?

35. Образование окалины – это результат....?

36. Образование окалины принято называть?

37. Основные дефекты при быстром охлаждении заготовок и поковок.

38. Как исправить дефект «перегрев»?

39. Назовите способы уменьшения скорости охлаждения?

40. Основные виды термообработки при ковке.

41. Перечислите критерии деления видов пластической деформации.

42. Какие явления связаны с процессом упрочнения металла при ковке?

43. Какие явления связаны с процессом разупрочнения металла при ковке?

44. При каких температурах проводят холодную деформацию?

45. При каких температурах проводят неполную холодную пластическую деформацию?

46. При каких температурах проводят неполную горячую пластическую деформацию?

47. При каких температурах проводят горячую пластическую деформацию?

48. Как влияет скорость деформации на процессыковки?

49. Назовите наиболее благоприятный вид пластической деформации дляковки металлов.
50. Опишите тепловой эффект деформации при ковке.
51. Какие факторы влияют на величину теплового эффекта деформации?
52. На основании какого закона получают формулу для расчета теплового эффекта деформации?
53. Какие диаграммы используют при установлении температурного режимаковки?
54. Как выбирают верхнюю границу температурного режимаковки?
55. Как выбирают нижнюю границу температурного режимаковки?
56. По какой диаграмме можно определить величину зерна, которое будет образовываться при выбранном температурном режимековки?
57. Расшифруйте термин «сопротивление деформации» при ковке.
58. Как определяют величину сопротивления деформации при различных температурах и скоростях деформации?
59. В чем отличие предела текучести металла до деформации от сопротивления деформации в процессе его обработки?
60. Каковы особенности охлаждения заготовок и поковок
61. Перечислите основные способы электрического нагрева?
62. В чем сущность индукционного способа нагрева заготовок?
63. В каких случаях применяют нагрев в расплавах солей?
64. Основные требования к заготовкам при электроконтактном нагреве?
65. Опишите характер изменения размера зерна и температуры.

3 ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ОСАДКИ

3.1 Напряженно-деформированное состояние

Течение металла в процессе осадки происходит неравномерно вследствие влияния сил трения T (рис. 62), возникающих на контактной плоскости между металлом и бойками. Эти силы трения тормозят смещение слоев металла, примыкающих к плоскости инструмента в радиальном направлении. Слои металла, удаленные от контактных плоскостей, деформируются интенсивнее. Важнейшим проявлением этой неравномерности является превращение свободной боковой поверхности осаживаемой заготовки, ранее бывшей прямолинейной, в криволинейную. Цилиндрическая заготовка приобретает бочкообразный вид. Чем больше силы трения на контактных поверхностях, тем сильнее отстает течение слоев металла, примыкающих к контактным плоскостям, от течения центральных слоев металла, и тем больше кривизна боковой поверхности осаживаемой заготовки после деформации.

При осадке заготовки под прессом или достаточно мощным молотом, дающим большую степень деформации за каждый удар, с отношением исходной высоты H_0 к исходному диаметру D_0 менее двух, наибольший диаметр бочки получается обычно на середине высоты (рис. 62). При неодинаковых условиях трения (температуры) на торцах заготовки наибольший диаметр может смещаться вверх или вниз.

Весь объем деформируемой заготовки можно условно разбить на три зоны деформации. Зона *I* состоит из двух областей «затрудненной» деформации, прилегающих к торцам заготовки. Зона *II* в осевом сечении заготовки имеет крестообразную форму, в этой

зоне наблюдается наиболее интенсивная деформация. В зоне *III* интенсивность деформации больше, чем в зоне *I*, но меньше, чем в зоне *II*. При осадке заготовок из малопластичных материалов в зоне *III* возможно образование трещин, расположенных вдоль образующей.

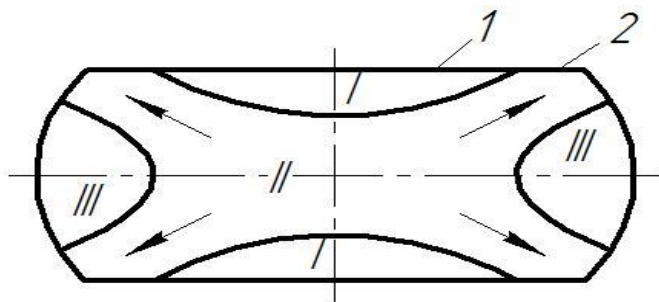


Рис. 62. Зоны деформации при осадке

Области деформации 1 и 2 образуют на каждом торце контактной поверхности заготовки две зоны: внутреннюю 1, в которой металл практически не перемещается, и наружную кольцевую 2, в которой происходит интенсивное течение металла в радиальном направлении.

При $H_0/D_0 > 1$ увеличение торцевой поверхности исходной заготовки происходит главным образом за счет перетекания металла с боковой поверхности заготовки.

По мере увеличения степени осадки и сближения между собой зон *I*, последние сливаются с зоной *II*, а торцевые поверхности при $H/D < 1$ начинают увеличиваться, главным образом, за счет течения поверхностных слоев металла в радиальном направлении, причем переход боковой поверхности на торцы уменьшается. При этом также значительно уменьшается зона *III* – деформация по всему объему тела становится более однородной и бочкообразность заготовки уменьшается.

При $H_0/D_0 > 2$, т.е. когда зоны I весьма удалены друг от друга в начальный момент осадки можно наблюдать образование двойной бочки, а при $H_0/D_0 > 2,5$ – образование двух бочек с недеформированной еще цилиндрической частью между ними (рис. 63). В обоих случаях по мере сближения зон I заготовка постепенно принимает вид обычной бочки. Однако при $H_0/D_0 > 2,5-3,0$ осадка цилиндрической заготовки, как правило, сопровождается продольным изгибом.

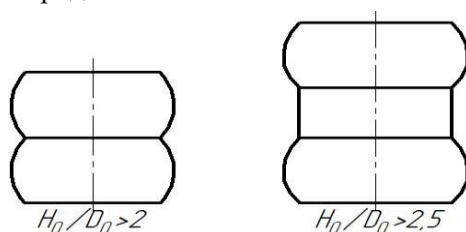


Рис. 63. Схемы деформации высоких заготовок

С увеличением степени деформации при осадке бочкообразность заготовки сначала увеличивается, достигая максимума, а затем уменьшается. Бочкообразность у низких заготовок меньше, чем у высоких. Повышение контактного трения во всех случаях увеличивает бочкообразность.

Влияние формы инструмента и заготовки на неравномерность деформации при осадке цилиндрической заготовки между параллельными плитами можно проиллюстрировать следующими схемами (рис. 64).

На рис. 64,а представлена схема осадки цилиндрической заготовки между плоскими гладкими плитами в торец; деформации в осевом, радиальном и окружном направлениях одинаковы, деформация равномерная. На рис. 64,б показана схема осадки цилиндрической заготовки, ось которой параллельна плоскости осаживаемых плит. Неравномерность деформации обусловлена

несоответствием формы заготовки форме инструмента. Обжатие максимально по оси симметрии и уменьшается к краям заготовки.

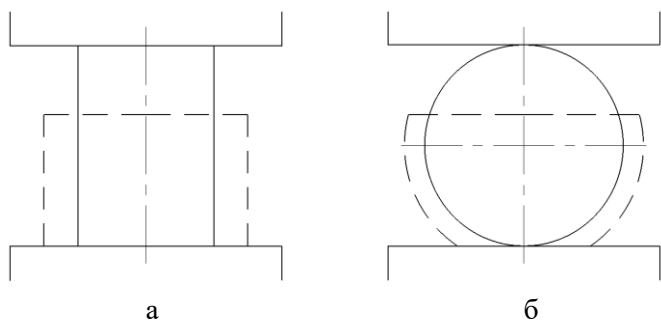


Рис. 64. Схемы деформации заготовки:
а – до деформации; б – после

Неравномерность деформации при горячей осадке приводит при рекристаллизации к неравномерному распределению размеров зерен по объему поковки (рис. 65).

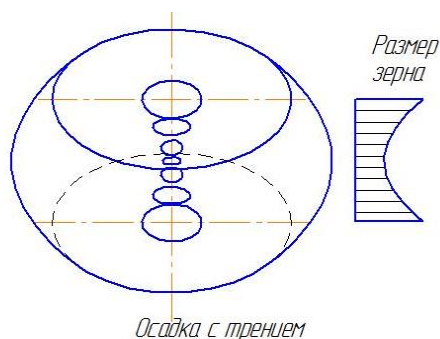


Рис. 65. Рост зерна при рекристаллизации поковки

Как видно из рис. 61, в зоне II металл заготовки, интенсивно течет в радиальном направлении, поэтому наблюдается взаимо-

действие между зонами затруднительной и зоной интенсивной деформации.

Зона I сдерживает деформацию в зоне II. В свою очередь зона II стремится увеличить деформацию в зоне I. Между этими зонами возникают дополнительные напряжения.

С.И. Губкин сформулировал закон дополнительных напряжений, на основании которого определяется знак дополнительных напряжений: «В слоях и элементах деформируемого тела, стремящихся в данном направлении к большему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает уменьшению размеров в рассматриваемом направлении. В слоях и элементах, стремящихся к меньшему изменению размеров, возникает дополнительные напряжения, знак которых отвечает увеличению размера».

Дополнительные напряжения могут быть трех родов:

- а) дополнительные напряжения первого рода, уравнивающиеся между отдельными слоями тела;
- б) дополнительные напряжения второго рода, уравнивающиеся между отдельными кристаллитами (зернами);
- в) дополнительные напряжения третьего рода, уравнивающиеся между отдельными элементами кристаллитов.

Дополнительные напряжения, суммируясь с основными напряжениями, приводят к следующим последствиям:

- а) повышение сопротивления деформированию;
- б) изменение распределения напряжений;
- в) понижение технологических свойств металла (появление трещин за счет растягивающих напряжений).

Дополнительные напряжения остаются в поковках после снятия внешней нагрузки в виде остаточных напряжений. Их называют остаточными напряжениями первого, второго и третьего рода, действующими соответственно между частями тела, кристаллитами и в кристаллите между группами атомов. Остаточные напряжения нежелательны, так как они ухудшают свойства металла.

Осадке подвергают не только цилиндрические, но и призматические заготовки. При осадке таких заготовок происходит искажение контуров поперечных сечений, обусловленное принципом наименьшего сопротивления (рис. 65).

Нетрудно представить, что при увеличении степени деформации при осадке контур прямоугольного поперечного сечения первоначально стремится к эллипсу, а эллипс в дальнейшем преобразуется в круг, после чего движение точек происходит по радиусам.

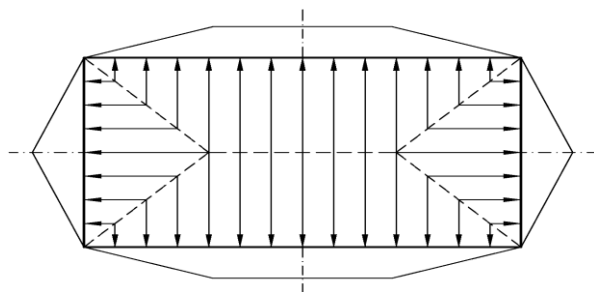


Рис. 66. Направление движения точек при осадке прямоугольной заготовки в условиях значительного трения

Таким образом, любая форма поперечного сечения призматического или цилиндрического тела при осадке его в условиях максимального контактного трения стремится принять форму фигуры, имеющей при данной площади наименьший периметр, т.е. в пределе стремится к кругу. Действие принципа может быть реализовано для получения осадкой круглых в плане поковок из заготовок квадратного поперечного сечения.

Для теоретического анализа процесса осадки цилиндрической заготовки применяют осесимметричное напряженное состояние. При его рассмотрении удобно пользоваться взамен декартовых цилиндрическими координатами, в которых положение любой точки A определяется радиус-вектором R , полярным углом θ и аппликатой z , как представлено на рис. 67.

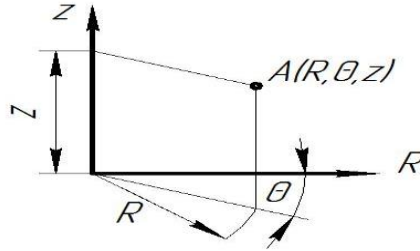


Рис. 67. Цилиндрическая система координат

Напряженно-деформированное состояние в любой точке деформируемой заготовки в цилиндрической системе координат описывается симметричными тензорами напряжений и деформаций

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_R & 0 & \tau_{Rz} \\ 0 & \sigma_{\theta} & 0 \\ \tau_{zR} & 0 & \sigma_z \end{pmatrix}, \quad T_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_R & 0 & \frac{1}{2}\gamma_{Rz} \\ 0 & \varepsilon_{\theta} & 0 \\ \frac{1}{2}\gamma_{zR} & 0 & \varepsilon_z \end{pmatrix},$$

где σ_R , σ_{θ} , σ_z – радиальное, тангенциальное и осевое нормальные напряжения соответственно; τ_{Rz} – касательное напряжение; ε_R , ε_{θ} , ε_z – радиальная, тангенциальная и осевая деформации соответственно; γ_{Rz} – угловая деформация.

Интегральными характеристиками напряженно-деформированного состояния в рассматриваемой точке заготовки являются: интенсивность напряжений σ_i и интенсивность деформаций ε_i :

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_R - \sigma_{\theta})^2 + (\sigma_{\theta} - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_R)^2 + 6\tau_{Rz}^2},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_R - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_R)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{Rz}^2},$$

полученные при компьютерном моделировании процесса осадки (рис. 68). Характер распределения σ_i и ε_i подтверждает наличие перечисленных выше зон в очаге пластической деформации и зон скольжения, торможения и прилипания на контактных поверхностях. Характер распределения интенсивности напряжений определяет величину сопротивления деформированию, зависящую от величины интенсивности деформаций, поэтому оба графика подобны друг другу.

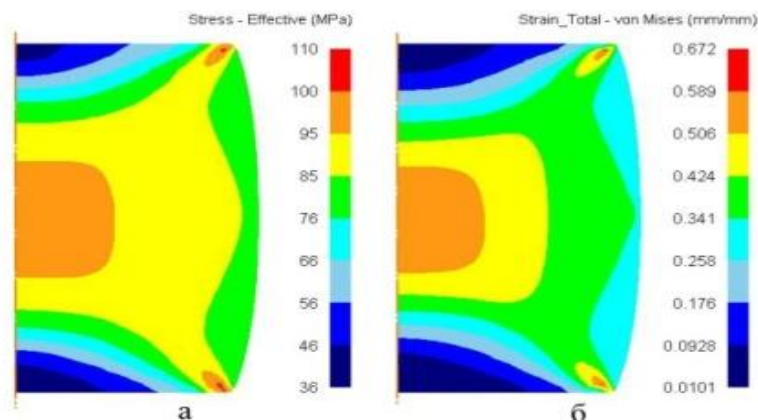


Рис. 68. Распределение интенсивности напряжений (а) и деформаций (б)

Схема главных нормальных напряжений при осадке представляет собой схему всестороннего неравномерного сжатия (рис. 69). По схеме главных деформаций осадка представляет собой сжатие – деформация в направлении активного усилия отрицательна, а две другие деформации положительны.

При осадке с трением в зонах *I* и *II* схема главных нормальных напряжений на рис.61 представляет собой схему всестороннего

неравномерного сжатия, а в зоне *III* – разноименную схему с окружным растягивающим напряжением, которое может достигать значительной величины и вызвать продольные трещины.

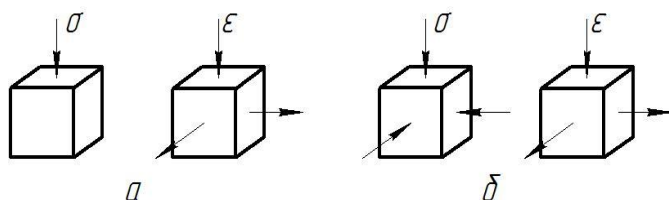


Рис. 69. Схемы главных напряжений и деформаций при осадке без контактного трения (а) и с контактным трением (б)

Об эпюрах распределения нормальных напряжений на контактных поверхностях можно судить по высоте гребешков, получаемых в процессе осадки цилиндрических образцов в бойках с вертикальной узкой щелью (рис. 70).

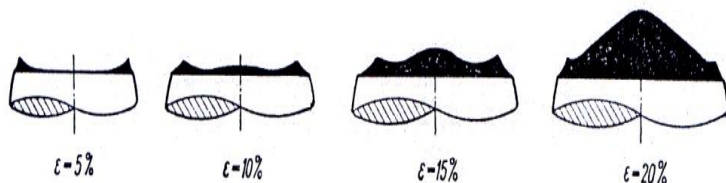


Рис. 70. Изменение высоты гребешка в зависимости от степени осадки

При малых степенях деформации и высоких заготовках эпюры распределения нормальных контактных напряжений могут иметь вогнутый характер, т.е. напряжения в периферийных областях контактной плоскости больше, чем в центре. При большой степени деформации и низких заготовках напряжения в центральной области превосходят напряжения на периферийных областях контактной плоскости.

Распределение контактных нормальных и касательных напряжений при анализе процесса осадки цилиндрических заготовок в общем случае дано на рис.70. При $\frac{d}{h} \geq 2(1 + \psi)$ и $0 < \mu < 0.5$ эпюра напряжений состоит из трёх участков – А, Б и В. Величина σ_z на каждом участке определяется соответственно выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -\sigma_s e^{\frac{2\mu}{h}(\frac{d}{2} - \rho)} \text{ (участок А),} \\ \sigma_z &= -\sigma_s \left[\frac{1}{2\mu} - \frac{(\rho_B - \rho)}{h} \right] \text{ (участок Б),} \\ \sigma_z &= \sigma_s \left(\frac{+\mu}{2\mu} + \frac{\rho^2 - h\rho_B}{2h^2} \right) \text{ (участок В).} \end{aligned}$$

Здесь d и h – конечные размеры диаметра и высоты заготовки, μ – коэффициент трения, σ_s – сопротивление металла деформации, $\rho_B = 0,5d - \psi h$, $\psi = -\ln 2\mu / 2\mu$.

Как видно из рис. 71, по поверхности контакта могут возникать различные условия взаимного перемещения между металлом заготовки и инструментом: скольжения, торможения и прилипания. Для осадки низких заготовок центральная зона В – это зона прилипания, средняя – зона торможения Б, периферийная зона А – зона скольжения. Контактные напряжения в этих зонах определяются следующими соотношениями:

В области скольжения А металл скользит по поверхности инструмента по закону Кулона.

$$\tau_k = \mu \sigma_k.$$

В области торможения Б скольжение может идти как внутри металла, так и на контакте по закону Зибеля.

$$\tau_k = \mu \sigma_T (\mu = 0,5).$$

В области прилипания В отсутствует скольжение металла по торцевой поверхности заготовки. Сдвиговые напряжения изменяются внутри деформируемой заготовки по линейному закону.

$$\tau_k = 0,5 \sigma_T \rho / 2h,$$

где ρ – расстояние от точки с до нейтрального сечения;
 l – протяженность зоны прилипания.

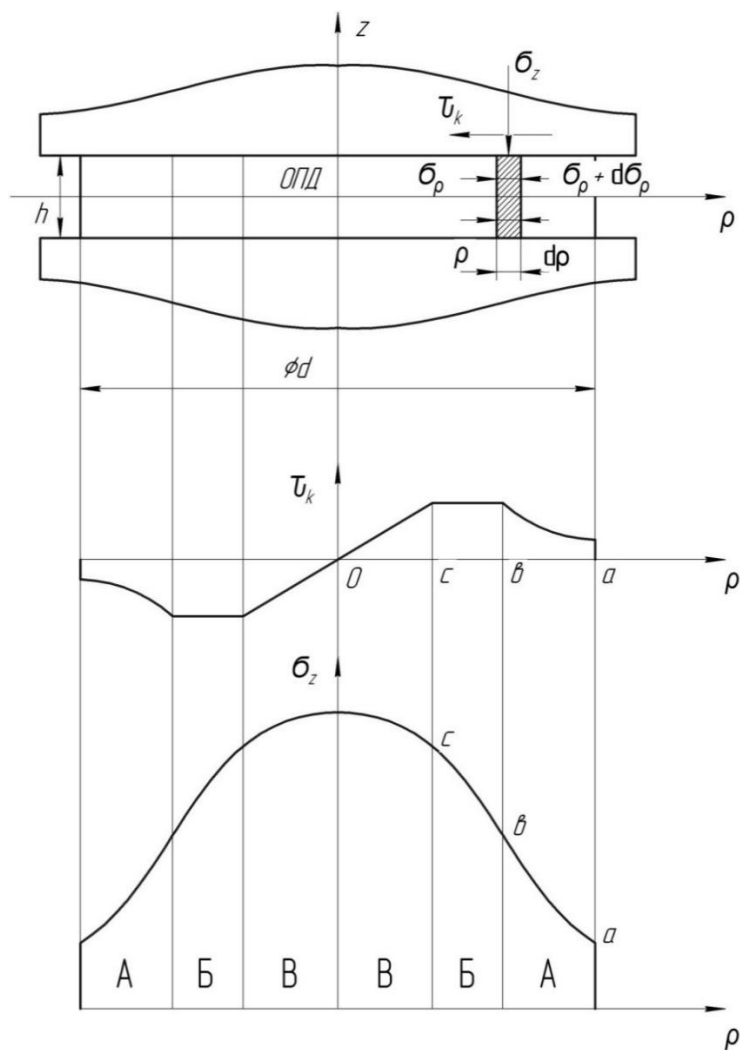


Рис. 71. Эпюры напряжения σ_z и τ_k при осадке низких заготовок

При $\mu_{\max} = 0.5$ и $\rho_B = 0,5d$ участок А исчезает. В этом случае эпюра нормальных напряжений состоит из двух участков Б + В (рис.70). Диаметр заготовки при больше ее высоты более, чем в два раза. При $d/h \leq 2(1 + \psi)$ эпюра σ_Z состоит из участков А и В (рис.71) при $d/h < 2$ эпюра напряжений на контактной поверхности имеет только один участок В (рис. 71).

Таким образом, при осадке цилиндра с начальными размерами d_0 и h_0 происходит непрерывное изменение параметра d/h . В общем случае могут реализоваться различные варианты эпюр нормальных контактных напряжений σ_Z , а следовательно и величин среднего удельного усилия $P_{\text{ср}}$, определяемых путём интегрирования уравнений нормальных контактных напряжений σ_Z по площадям соответствующих участков контактной поверхности, на которых они действительны.

При $d/h \geq 2(1 + \psi)$ и $0 < \mu < 0.5$ с учетом участков А, Б, и В

$$P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{т}} \left\{ \frac{2h^2}{\mu^2 d^2} \left[\left(1 + \frac{\mu d_B}{h} \right) \frac{1}{2\mu} - \left(1 + \frac{\mu d}{h} \right) \right] + \frac{d_B^2}{2\mu d^2} \left(1 + \frac{\mu d_B}{3h} \right) - \frac{1}{3} \cdot \frac{h^2}{d^2} \right\}.$$

При $d/h < 2$ и $\mu = 0.5$ с учетом Б и В

$$P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{т}} \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{d}{h} - \frac{1}{3} \cdot \frac{h^2}{d^2} \right).$$

При $2 \leq d/h \leq 2(1 + \psi)$ и $0 < \mu < 0.5$ с учетом участков А и В

$$P_{\text{ср}} = 2\sigma_{\text{т}} \frac{h^2}{\mu^2 d^2} \left[\left(e^{\frac{\mu d}{h}} - \frac{\mu d}{h} - 1 \right) \right].$$

При $d/h \leq 2$ и $\mu > 0$ с учетом участка В

$$P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{т}} \left(1 + \frac{\mu}{4} \cdot \frac{d}{h} \right).$$

3.2 Расчет усилия осадки цилиндрических заготовок

Вывод формулы для расчета усилия проведем методом работ при решении задачи осадки цилиндрической заготовки диаметром d и высотой h на величину абсолютной деформации Δh из идеально пластичного материала $\sigma_T = \text{const}$.

Работа внешних сил может быть вычислена по формуле:

$$A_B = P \Delta h ,$$

где P —усилие, приложенное к бойку;

Δh — перемещение верхнего бойка.

Работа сил трения на каждом из торцов заготовки определяется формулой

$$A_{\text{тр}} = - \iint_F \tau_k u_\rho dF ,$$

где u_ρ — радиальное перемещение, τ_k —касательное напряжение на контактной поверхности, dF — элемент площади. Знак « — » в формуле в силу того, что силы трения препятствуют перемещению металла.

Работа сил деформирования для неупрочняемого металла $\sigma_i = \sigma_T$. Тогда

$$A_d = \sigma_T \iiint_V \varepsilon_i dV = \sigma_T \iiint \varepsilon_i \rho d\rho d\theta dz.$$

Деформации в продольном, окружном и радиальном направлениях для осесимметричной задачи находят по формулам:

$$\varepsilon_z = -\frac{\Delta h}{h} , \quad \varepsilon_\rho = \frac{du_\rho}{d\rho} , \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{\rho}.$$

Воспользуемся условием несжимаемости

$$\frac{du_\rho}{d\rho} + \frac{u_\rho}{\rho} - \frac{\Delta h}{h} = 0.$$

Это дифференциальное уравнение первого порядка имеет решение

$$u_\rho = \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h} \rho.$$

Тогда компоненты деформации и интенсивность деформации находятся по формулам

$$\varepsilon_\rho = \frac{du_\rho}{d\rho} = \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{u_\rho}{\rho} = \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h}; \quad \varepsilon_z = -\frac{\Delta h}{h};$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_\rho - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_\rho)^2} = \pm \frac{\Delta h}{h}.$$

В расчетах надо взять знак «-», поскольку основной деформацией является деформация сжатия(укорочения).

Работа сил деформирования

$$A_D = \sigma_T \iiint_V \varepsilon_i dV = -\sigma_s \frac{\Delta h}{h} \int_0^{2\pi} \int_0^{0,5d} \int_0^h \rho d\rho d\theta dz = -\sigma_T \Delta h \frac{\pi d^2}{4}.$$

Работа сил трения на верхнем и нижнем бойках вычисляется путем интегрирования

$$A_{\text{тр}} = -2\tau_k \int_0^{2\pi} \int_0^{0,5d} \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h} \rho^2 d\rho d\theta = -\frac{\tau_k \Delta h d \pi d^2}{3h} \frac{\pi d^2}{4}.$$

Полная работа внешних сил определяется выражением

$$A_B = P \Delta h = \frac{\sigma_T \Delta h \pi d^2}{4} - \frac{\tau_k \Delta h d \pi d^2}{3h} \frac{\pi d^2}{4}.$$

Окончательно формула для расчета полного усилия осадки имеет вид

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \left(\sigma_T + \frac{\tau_k d}{3h} \right).$$

Принимая закон трения по Зибелю $\tau_k = \mu \sigma_T$ получим

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_T \left(1 + \frac{\mu d}{3h} \right).$$

При горячей обработке давлением $\mu = 0,3 - 0,4$. Причем μ для молота меньше, чем для прессы.

3.3 Расчет размеров заготовки с учетом бочкообразования

Необходимость учета объема металла, размещенного в области криволинейной боковой поверхности заготовки, важно потому, что его наличие приводит либо к уменьшению производительности при обкатке бочкообразной заготовки, либо к повышенному расходу металла, поскольку объем металла, идущий на бочкообразование не учитывался.

Для учета процесса бочкообразования при осадке цилиндрических заготовок с трением (рис. 71) используют обычно коэффициент бочкообразности:

$$\theta = \frac{V_{\delta}}{V_{\text{заг}}} \cdot 100\%,$$

где V_{δ} – объем металла, затрачиваемый на бочкообразование;

$V_{\text{заг}}$ – объем исходной заготовки;

$$V_{\delta} = V_{\text{заг}} - V_{\text{ц}};$$

$V_{\text{ц}}$ – объем цилиндрической части заготовки;

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} D_{\Gamma}^2 H_K$$

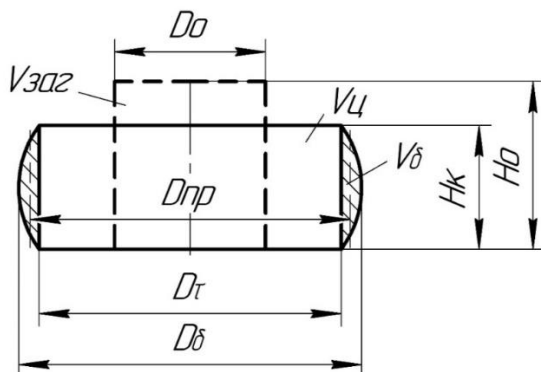


Рис. 72. Схема осадки

Как видно из рис. 73, полученного Я.М. Охрименко, с увеличением степени деформации D/H , коэффициент бочкообразности сначала резко увеличивается, достигая максимума, а затем плавно уменьшается. Чем больше начальное отношение D_0/H_0 , тем меньше θ и при меньшей степени деформации достигается ее максимум. Коэффициент бочкообразности у низких заготовок более чем в три раза меньше, чем у высоких заготовок.

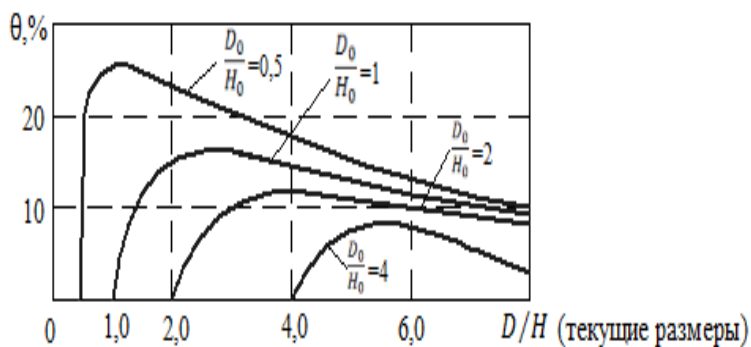


Рис. 73. Зависимость коэффициента бочкообразования θ от текущих размеров заготовки D/H

Расчет заготовки с учетом бочкообразования на примере осадки поковки типа «диск» (рис. 74) проводят в следующей последовательности.

1. На основе номинальных размеров бочкообразных поволоок D_T и H_K находят объем цилиндрической части поковки $V_{ц}$.

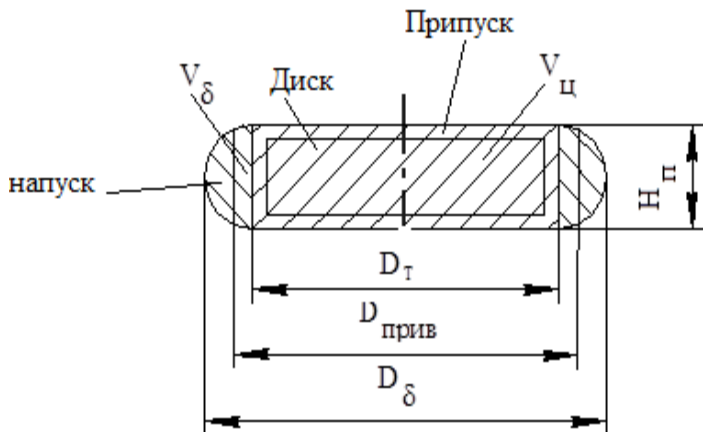


Рис. 74. Чертеж поковки «диск»

2. Выбирают предварительные размеры заготовки D'_0 и H'_0 при условии устойчивости при осадке $H'_0/D'_0 \leq 2,5$. Например,

$$D'_0 = 0,5D_T, \text{ т.е. } D'_0 < D_T. \text{ Тогда } H'_0 = \frac{4V_{ц}}{\pi(D'_0)^2}.$$

3. Определяют примерную степень деформации в процентах

$$\epsilon'_H = \frac{H'_0 - H_K}{H'_0} \cdot 100\%.$$

4. По экспериментальному графику на рис. 70 в зависимости от известных величин ϵ'_H и D'_0/H'_0 определяют относительную величину объема металла, идущего на бочкообразование

$$\theta = \frac{V_{\delta}}{V} \cdot 100\%.$$

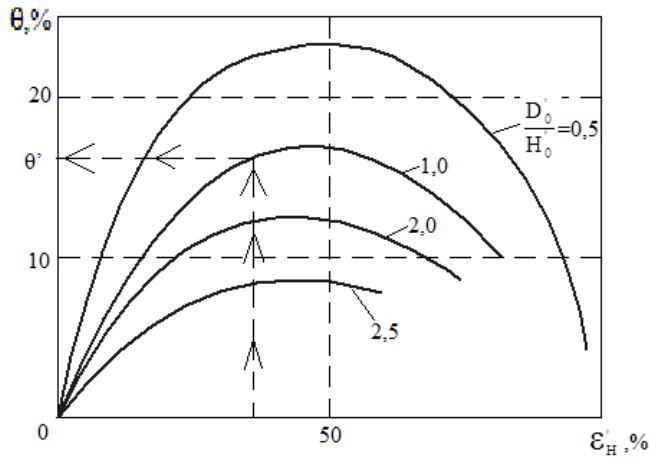


Рис. 75. Зависимость коэффициента бочкообразования θ от степени деформации по высоте ε'_H

5. По известным величинам ε'_H и D'_0/H'_0 рассчитывают предварительный объем поковки

$$V'_n = \frac{100V_q}{100 - \theta'}.$$

6. По V'_n рассчитывают предварительный объем заготовки $V'_{\text{заг}}$ с учетом угара, обсечек. Окончательные размеры D_0 и H_0 подбирают исходя из того, что отношение D_0/H_0 должно быть равно или больше D'_0/H'_0 . Если при этом ε'_H , изменяется так, что вызывает уменьшение θ , по размерам заготовки не пересчитывают, т.е. принимают $V^3_{\text{заг}} = V_{\text{заг}}$.

7. При изменении ε'_H , вызывающем увеличение θ более чем на 1%, проводят пересчет осадки с изменением принятых размеров D'_0 и H'_0 , но до тех пор, пока θ не увеличится меньше, чем на 1%.

Размер D_δ можно определить исходя из экспериментально установленного соотношения

$$\frac{D_\delta - D_{\text{пр}}}{D_{\text{пр}} - D_T} = \frac{1}{3}, \quad D_{\text{пр}} = 1,13 \sqrt{\frac{V}{H_K}},$$

$$\text{откуда } D_\delta = \frac{4D_{\text{пр}} - D_T}{3} = \frac{4,5 \sqrt{\frac{V}{H_K}} - D_T}{3} \quad \text{или} \quad D_\delta = 1,5 \sqrt{F_{\text{пр}}} - 0,33D_T.$$

Бочкообразование особенно нежелательно при ковке труднодеформируемых сплавов. В связи с этим на практике для устранения бочки, заготовки осаживают между прокладками из более мягкого металла, чем металл заготовки (рис. 76).

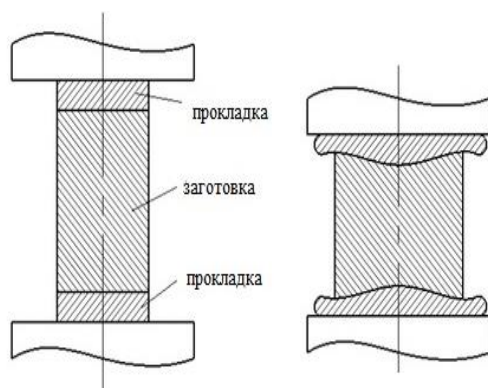


Рис. 76. Способ осадки с пластичными прокладками

В другом способе производят осадку двух поставленных друг на друга заготовок, рис. 77, после первого обжатия обе заготовки

поворачивают на 180 в плоскости оси первого обжатия, складывают вместе по меньшему диаметру и вновь осаживают.

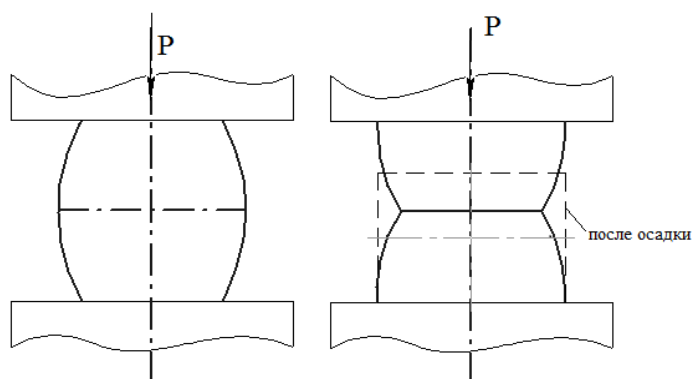


Рис. 77. Способ одновременной осадки двух заготовок

На рис. 78 показана конечная форма заготовки после обычной осадки и комбинированной осадки, осуществляемой воздействием на заготовку одновременно осевой силы и крутящего момента путем вращения верхнего бойка. В этом способе осадки снижается усилие осадки, повышается равномерность деформации и отмечается нарушение цилиндрической поверхности только в области контакта заготовки с нижним неподвижным бойком.

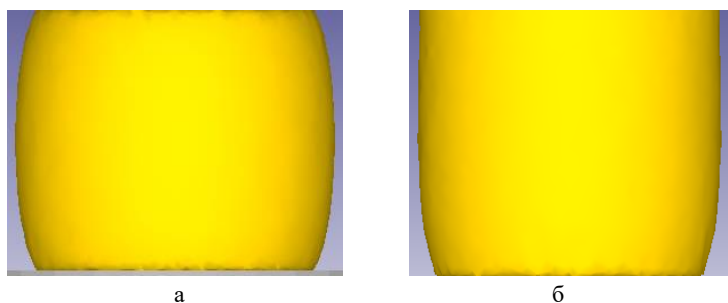


Рис. 78. Внешняя форма заготовки:

а – деформация без вращения; б – деформация с вращением

Практически равномерное распределение интенсивности деформаций по меридиональному сечению на рис. 78,б и цилиндрическую форму боковой поверхности заготовки можно обеспечить, если осуществить осадку заготовки вращающимися в разных направлениях верхним и нижним бойками.

При осадке заготовок в выпуклых бойках повышается равномерность деформированного состояния, поэтому этот способ применяется при осадке и протяжке с большими деформациями. При осадке в вогнутых бойках наоборот бочкообразность увеличивается, поэтому этот способ используют только для повышения устойчивости заготовки.

Для получения возможно меньшей бочкообразованности можно применять следующие смазки: жидкое стекло (15-20%), коллоидальный графит (5-10%), эмульсии. Для уменьшения бочкообразованности можно так же применять подогрев бойков (осадочные плиты).

В технической литературе предложен ряд способов осадки, позволяющих повысить технологическую пластичность металла путем уменьшения величины растягивающих напряжений: осадка заготовки, установленной в контейнере, осадка составной заготовки из малопластичного и пластичного металлов.

3.4 Особенности осадки в подкладных кольцах

Величина затекания металла в отверстия подкладных колец зависит от соотношения размеров заготовки, формы и размеров кольцевых каналов, сил трения и относительной степени деформации.

В.Н. Трубин установил три схемы течения металла. Первая схема на рис. 79, а возможна при сравнительно высокой заготовке ($H/D > 0,25$), когда отверстие в кольце мало влияет на формоизменение и распределение деформации. Происходит радиальное

смещение металла к периферии. Осовая часть заготовки, примыкающая к отверстию кольца, почти не деформируется. Смещение некоторого объема металла в кольцо происходит в результате действия сил среза. Поэтому абсолютное приращение длины образующейся цапфы $\Delta l_{ц}$ меньше абсолютного обжатия ΔH . При отношении $H/D \approx 0,25$ металл течет по второй схеме (рис. 79,б). Центральная зона металла А устремляется в кольцо, а в остальной части (Б) происходит радиальное течение. В этом случае приращение цапфы равно абсолютному обжатию заготовки ($\Delta l_{ц} = \Delta H$).

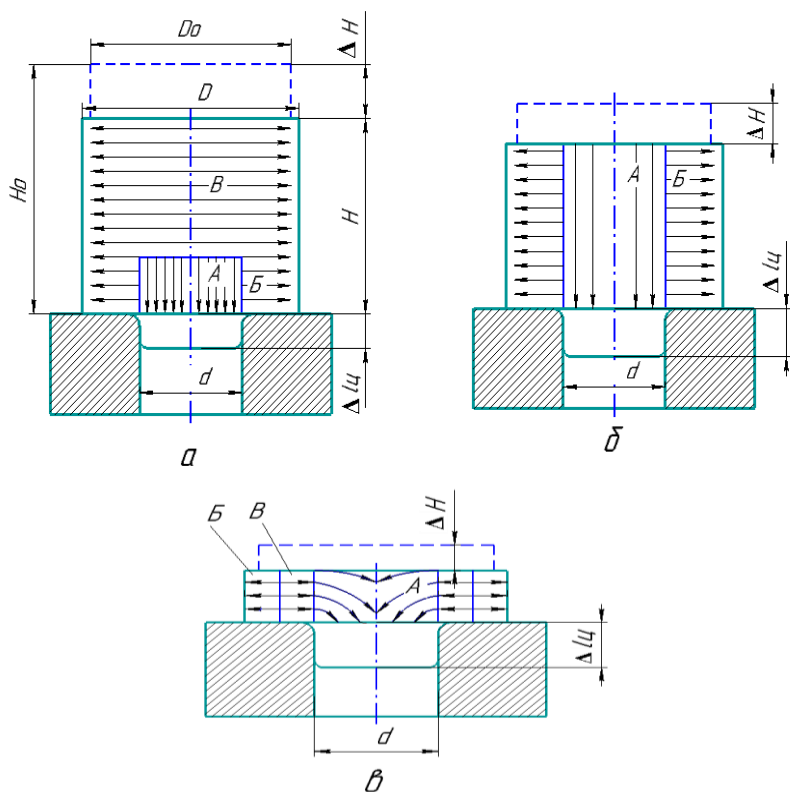


Рис. 79. Схемы течения металла при осадке заготовок на подкладном кольце с отверстием: а – $H/D > 0,25$; б – $H/D = 0,25$; в – $H/D < 0,25$

Третья схема ($H/D < 0,25$) характеризуется тем, что по контактной поверхности возникают значительные силы трения и в соответствии с законом наименьшего сопротивления часть металла перемещается в радиальном направлении, а другая течет в кольцо (рис. 79,в). Приращение длины цапфы превышает абсолютное обжатие ($\Delta l_{\text{ц}} > \Delta H$). Следовательно, для интенсивного перемещения металла в кольцо нужно, чтобы высота деформируемой заготовки достигло значения $H < (0,25 \dots 0,35) D$.

На рис. 80 представлена диаграмма зависимости относительных размеров поковки от степени деформации заготовки, полученная в процессе моделирования осадки цилиндрической заготовки из алюминиевого сплава АД31 на подкладном кольце с помощью программы Deform – 2D при следующих условиях:

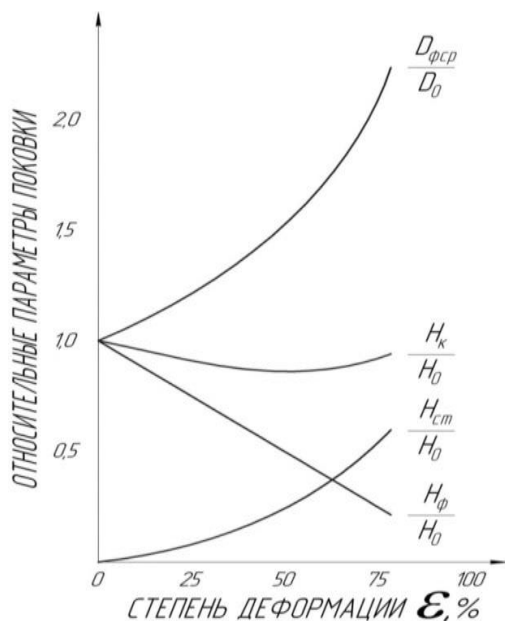


Рис. 80. Диаграмма зависимости относительных размеров поковки от степени деформации заготовки

$D_0 = 40\text{мм}$, $H_0 = 40\text{мм}$, $d_0 = 22\text{мм}$, $\gamma = 3^\circ$, $r = 3\text{мм}$, $\mu = 0,3$ (рис. 81). Как видно из рис. 80 с увеличением степени деформации наблюдается интенсивный рост относительных размеров ступицы $H_{\text{ст}}/H_0$ и среднего диаметра фланца $D_{\text{фср}}/D_0$ по закону экспоненты. Чем ближе верхний боек к подкладному кольцу, тем больше высота ступицы и средний диаметр фланца. Относительная высота поковки вначале уменьшается до минимума при $\varepsilon = 60\%$, а затем начинается ее рост. Относительная высота фланца определяется величиной степени деформации. Задавшись исходной высотой фланца по диаграмме легко найти все остальные геометрические размеры поковки.

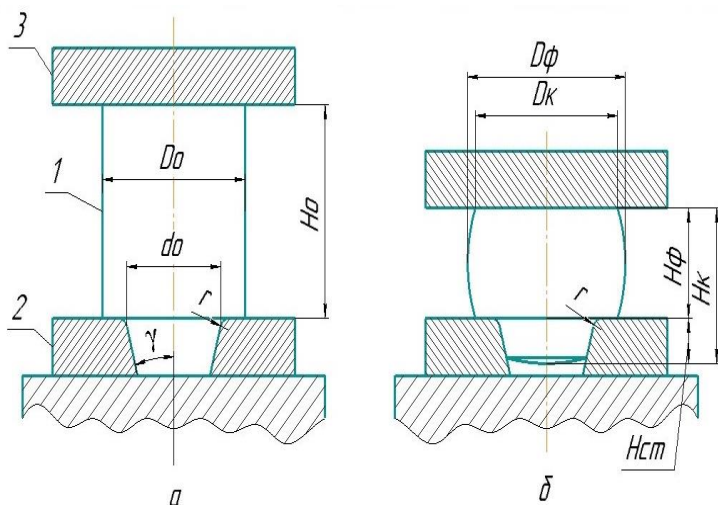


Рис. 81. Схема осадки цилиндрической заготовки 1 в подкладном кольце 2 плоскими бойком 3 в начале (а) и в конце (б) процесса:

D_0 – диаметр заготовки; H_0 – высота заготовки; d_0 , диаметр отверстия в подкладном кольце; γ – ковочный уклон; $H_{\text{ст}}$ – высота ступицы; $H_{\text{ф}}$ – высота фланца; $D_{\text{ф}}$ – наибольший диаметр фланца; r – радиус кромки отверстия; $H_{\text{к}}$ – высота поковки; $D_{\text{к}}$ – диаметр контактной поверхности заготовки с инструментом.

На рис. 82 представлены векторные поля скоростей течения в меридиональных сечениях заготовки при различных степенях деформации. Из анализа картины течения при $\varepsilon = 25\%$ видно, что частицы металла центральной области двигаются под воздействием верхнего бойка с убывающей скоростью течения к конической полости по турбулентным траекториям, достигая минимума на радиусном закруглении отверстия. Питающий объем для формирования ступицы локализован около отверстия кольца. Частицы металла, расположенные над рабочей поверхностью кольца, вначале медленно, а затем более интенсивно поворачиваются и двигаются по криволинейным траекториям к внешней поверхности фланца. С увеличением степени деформации до 50% видна область течения металла в осевом направлении, принимающая воронкообразную форму.

На линии, соединяющей кромку радиусного закругления и кромку в зоне перехода наружной поверхности фланца на контактную поверхность заготовки с бойком, наблюдается резкий поворот траекторий течения частиц металла к внешней поверхности фланца. В области радиусного закругления отмечается резкое торможение скоростей течения, что приводит к образованию зоны мертвого металла. Максимальный диаметр бочкообразной поверхности фланца смещается к рабочей поверхности кольца. При $\varepsilon = 75\%$ условной границей раздела потоков металла является цилиндрическая поверхность с радиусом, равным радиусу входного отверстия конической полости. В этот период осадки идет интенсивное формообразование ступицы и фланца.

На рис. 83 при $\varepsilon = 85\%$ видно смещение условной цилиндрической поверхности раздела скоростей течения металла в фланцевую часть и коническую полость с радиусом, превышающим радиус отверстия.

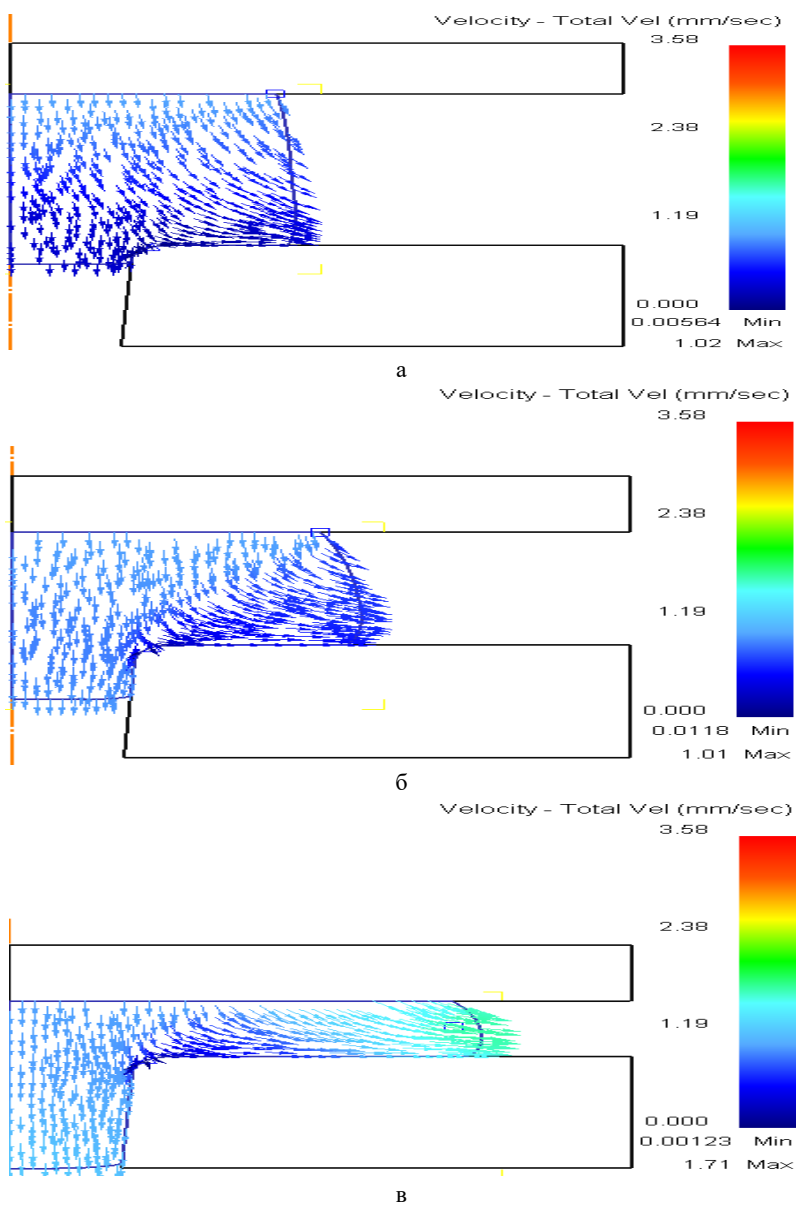


Рис. 82. Графики распределения скоростей течения металла после осадки:
а – 25%, б – 50%, в – 75%

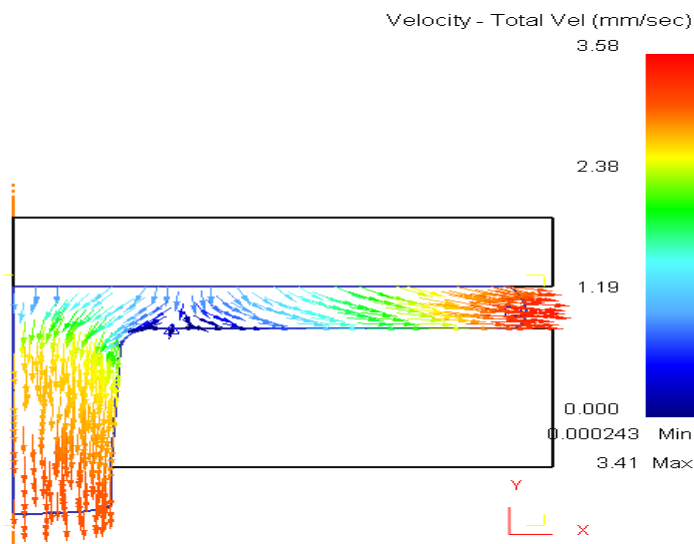


Рис. 83. Граница разделения потоков металла

Результаты моделирования по формообразованию ступицы в зависимости от степени деформации заготовки ε , коэффициента трения μ , относительных размеров заготовки H_0/D_0 , относительных размеров отверстия подкладной плиты d_0/D_0 , ковочного угла γ , радиус закругления r приведены в табл. 4.

Из рассмотрения результатов замеров относительной высоты ступицы установлено, что внешнее трение способствует формированию более высокой ступицы, чем при осадке заготовки без трения. При $\mu = 0,15$ получены наиболее высокие ступицы. Увеличение коэффициента трения приводит к уменьшению размеров ступицы в пределах 5–10%. Основная причина роста размеров ступиц при осадке в подкладных кольцах с внешним трением в сравнении без трения – это сдерживание течения металла в направлении от оси к периферии в радиальном направлении силами трения. Это приводит к увеличению питающего объема металла, локализованного около отверстия, для формирования ступицы.

**Таблица 4. Результаты замеров относительной высоты
ступицы $H_{ст}/H_0$**

Параметры	Степень деформации ε , %		
	25	50	75
$\mu = 0$	0,080	0,210	0,468
$\mu = 0,15$	0,093	0,238	0,510
$\mu = 0,30$	0,083	0,215	0,473
$\mu = 0,50$	0,070	0,210	0,463
$H_0/D_0 = 0,5$	0,118	0,245	0,473
$H_0/D_0 = 1,0$	0,083	0,215	0,450
$H_0/D_0 = 1,5$	0,080	0,158	0,418
$H_0/D_0 = 2,0$	0,075	0,133	0,365
$d_0/D_0 = 0,40$	0,060	0,155	0,395
$d_0/D_0 = 0,55$	0,085	0,223	0,480
$d_0/D_0 = 0,70$	0,120	0,278	0,553
$\gamma = 1^\circ$	0,083	0,210	0,458
$\gamma = 3^\circ$	0,085	0,223	0,480
$\gamma = 6^\circ$	0,098	0,240	0,513
$r = 1\text{мм}$	0,078	0,223	0,490
$r = 3\text{мм}$	0,085	0,223	0,480
$r = 5\text{мм}$	0,095	0,225	0,480

Чем ниже высота заготовки, тем больше высота ступицы. В связи с этим целесообразно при осадке в подкладных кольцах использовать исходные заготовки с размерами $H_0/D_0 = 0,5 \div 1,0$. Высота ступицы устойчиво возрастает в пределах 12 – 18%. Это связано с уменьшением сопротивления деформации металла при заполнении конической полости кольца. С изменением радиуса закругления кромки отверстия высота ступицы изменялась в пределах 12% при $\varepsilon = 25\%$. При больших обжатиях заготовки влияние r отсутствует. При увеличении отношения d_0/D_0 заполнение конической полости кольца облегчается, что обеспечивает существенный рост высоты ступицы при $\varepsilon = 75\%$.

Представляет известный интерес изучение совместного влияния степени деформации при осадке ε , (x_1), относительного размера диаметра отверстия кольца D_0/H_0 (x_2) и относительных размеров заготовки H_0/D_0 (x_3) на относительную высоту ступицы $H_{ст}/H_0$, усилие осадки P , относительный диаметр фланца $D_{ф\text{ ср}}/D_0$, относительную высоту поковки $H_k(H_0)$ и накопленную интенсивность деформации ε_i . Численные эксперименты на компьютерной модели проведены по плану полного факторного эксперимента 2^3 [55] для интервалов варьирования параметров $x_1 = (40 \div 60)\%$, $x_2 = 0,4 \div 0,6$, $x_3 = 0,8 \div 1,2$ при $\gamma = 6^\circ$, $r = 3$ мм и $\mu = 0,15$.

Результатам численных экспериментов, выполненных по плану такой матрицы, представленной в табл., будут отвечать математические модели, записанные в виде алгебраического полинома

**Таблица 5. Матрица планирования
полного факторного эксперимента 2^3**

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе			Выходные параметры				
	$\varepsilon, \%$	$\frac{d_0}{D_0}$	$\frac{H_0}{D_0}$	$P, \text{ КН}$	$\frac{H_6}{H_0}$	$\frac{D_{ф\text{ ср}}}{D_0}$	$\frac{H_k}{H_0}$	ε_i
	x_1	x_2	x_3					
1	40	0,4	0,8	409	0,19	1,24	0,78	1,74
2	60	0,4	0,8	678	0,34	1,49	0,74	2,25
3	40	0,6	0,8	362	0,29	1,22	0,88	2,35
4	60	0,6	0,8	550	0,50	1,41	0,91	2,55
5	40	0,4	1,2	397	0,08	1,23	0,68	1,05
6	60	0,4	1,2	649	0,20	1,51	0,6	2,38
7	40	0,6	1,2	379	0,15	1,22	0,75	1,96
8	60	0,6	1,2	588	0,31	1,47	0,71	2,64

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – расчетные коэффициенты;

y – целевые функции;

x_1, x_2, x_3 – кодированные значения факторов:

$$x_1 = \frac{\widetilde{x}_1 - 50}{10}, x_2 = \frac{\widetilde{x}_2 - 0,5}{0,1}, x_3 = \frac{\widetilde{x}_3 - 1,0}{0,2}.$$

В результате обработки численных экспериментальных данных (табл. 5) получены математические модели, в которых исключены расчётные коэффициенты, величины которых составляют $< 1\%$ относительно исходного значения коэффициента b_0 , определяющего центр эксперимента:

$$\frac{H_6}{H_0} = 0,257 + 0,081x_1 + 0,056x_2 - 0,074x_3 + 0,012x_1x_2 - \\ - 0,009x_1x_3 - 0,009x_2x_3,$$

$$P = 501,5 + 114,75x_1 - 31,75x_2 - 15,5x_1x_2 + 12x_2x_3,$$

$$\frac{D_{\Phi \text{ ср}}}{D_0} = 1,349 + 0,12x_1 - 0,019x_2,$$

$$\frac{H_K}{H_0} = 0,756 - 0,016x_1 + 0,056x_2 - 0,071x_3,$$

$$\varepsilon_i = 2,12 + 0,34x_1 + 0,26x_2 - 0,11x_3 - 0,12x_1x_2 + \\ + 0,16x_1x_3 + 0,11x_2x_3.$$

Первая математическая модель подтверждает полученные ранее результаты и показывает, что в рассматриваемой области исследования на высоту ступицы в значительной степени оказывает влияние степень деформации при осадке (x_1), относительная геометрия исходной заготовки (x_3), и в меньшей степени – относительные размеры отверстия в кольце (x_2). С увеличением степени деформации и снижением относительной высоты заготовки относительная высота ступицы $H_{\text{ст}}/H_0$ заметно возрастает.

Из второй модели следует, что на усилие осадки цилиндрической заготовки на подкладном кольце основное влияние оказывает

прежде всего степень деформации, а затем относительные размеры отверстия кольца. Влияние относительных размеров заготовки на усилие осадки отсутствует.

Третья и четвертая модели определяют геометрию поковки после деформации, а именно, размеры поковки по высоте и среднему наружному диаметру фланца. Высота поковки получается ниже высоты исходной заготовки. Главное влияние на размеры фланца оказывает степень деформации, а высоту поковки – относительные размеры заготовки и отверстия в кольце.

Пятая модель отражает характер изменения полной интенсивности деформаций. Чем больше x_1, x_2 и меньше x_3 , тем больше величина полной интенсивности деформаций.

3.5 Контрольные вопросы

1. Опишите основные зоны очага пластической деформации при осадке?
2. Перечислите основные причины неравномерности деформации при осадке?
3. Как уменьшить неравномерность деформации при осадке?
4. Охарактеризуйте схемы главных нормальных напряжений и деформаций при осадке с трением и без трения.
5. Как рассчитать коэффициент бочкообразности?
6. Как влияет на коэффициент бочкообразности относительные размеры заготовки?
7. В чем особенности осадки высоких заготовок?
8. Какую деформацию заготовки при осадке называют равномерной и неравномерной?
9. Какие зоны деформации можно наблюдать в меридиональной плоскости осаживаемой цилиндрической заготовки в шероховатых параллельных плитах?

10. Причины появления дополнительных напряжений при осадке цилиндрической заготовки.

11. Определите знаки дополнительных напряжений в зонах затруднённой и интенсивной деформации при осадке цилиндрической заготовки.

12. Как влияет соотношение D_0/H_0 на неоднородность деформации при осадке?

13. В какой зоне деформации при осадке возможно появление окружных растягивающих напряжений?

14. Сформулируйте закон дополнительных напряжений, предложенный С.И. Губкиным?

15. Привести примеры неоднородности деформации из-за неоднородности физико-механических свойств заготовки.

16. Опишите способы, применяемые в промышленности для уменьшения бочкообразования в процессе осадки.

17. В каких случаях возможно образование двойной бочки?

18. Опишите геометрию боковой поверхности цилиндрической заготовки после осадки в следующих случаях: а) трение на контактных поверхностях бойков отсутствует; б) трение на верхнем бойке отсутствует, на нижнем присутствует; в) трение на верхнем бойке присутствует, на нижнем отсутствует; трение присутствует на верхнем и нижнем бойках.

19. Как уменьшить величину растягивающих напряжений, действующих в зоне III при осадке?

20. В чем отличие осадки цилиндрической заготовки между плоскими гладкими плитами в торец и осадки цилиндрической заготовки, ось которой параллельна плоскости осаживаемых плит?

21. Особенности процесса осадки поковок в подкладных кольцах.

22. Какие факторы влияют на высоту ступицы при осадки в подкладных кольцах.

23. Перечислите рекомендации по осадке заготовок.

24. Сущность метода работ при получении формулы для расчета усилия осадки.

4 ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ПРОТЯЖКИ

4.1 Способы протяжки

В технологииковки используют несколько способов протяжки заготовок (рис. 84).

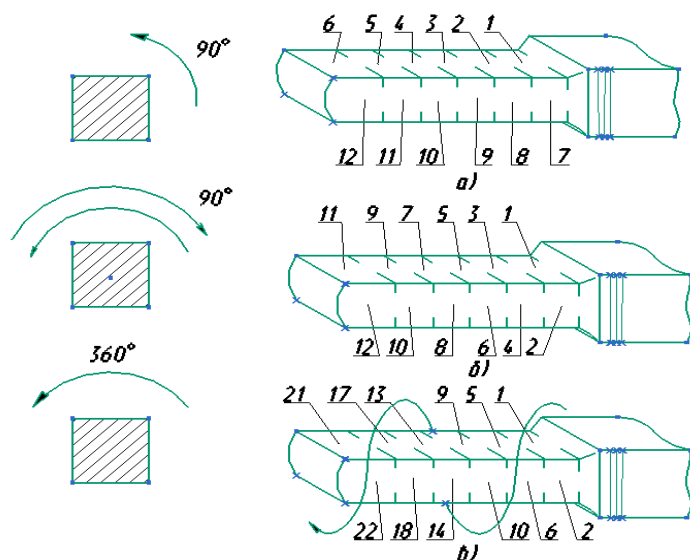


Рис. 84. Способы протяжки заготовок

В первом способе протяжку осуществляют последовательными единичными обжатиями и подачами заготовки на длину участка вдоль ее оси с одной стороны на величину l_0 после каждого обжатия. После первого прохода заготовку кантуют на 90° и

выполняют второй проход на длину участка с другой стороны (рис. 84,а).

Для получения гладкой поверхности величина подачи $l_0 < b$, где b – ширина плоского бойка. На практике обычно $l = (0,5-0,75)b$.

Этот способ протяжки применяют для крупных и средних по массе заготовок из углеродистых и легированных сталей.

Второй способ протяжки проводят с обжатием участков на каждой стороне заготовки с кантовкой в обе стороны. При этом после каждого перехода следует подача, кантовка и очередной переход (рис. 84,б). Этот способ применяют при протяжке заготовок из легированных сплавов с пониженной пластичностью.

Третий способ протяжки – это протяжка заготовки по винтовой линии. После каждого обжатия проводится кантовка на 90° в одну и ту же сторону (рис. 84,в). После четырех обжатий следует новая подача. Его применяют при ковке заготовок из твердых инструментальных сталей.

При протяжке различают *переходы* и *проходы*. Простейший переход состоит из обжатия и подачи. Чаще всего при протяжке применяют более сложные переходы с кантовкой заготовки между соседними обжатиями и подачей после каждых двух обжатий (рис. 85).

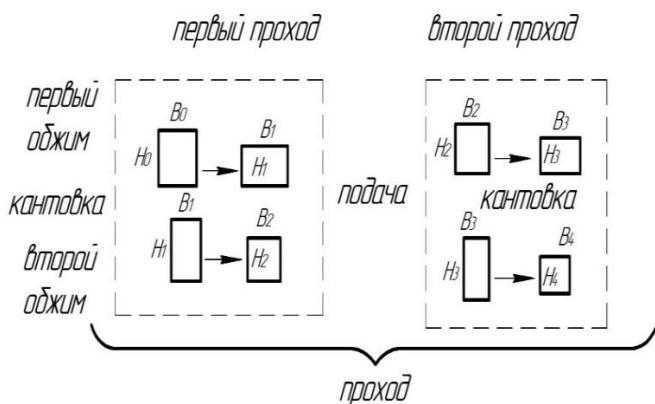


Рис. 85. Переходы и проходы протяжки

Смежные переходы по длине протягиваемой заготовки составляют проход. Протяжка может быть однопроходной, двухпроходной и т.д., но она всегда многопереходная.

4.2 Показатели деформации при протяжке

После каждого обжатия плоскими бойками заготовка приобретает сложную конфигурацию за счет бочкообразования по высоте и длине заготовки (рис. 86).

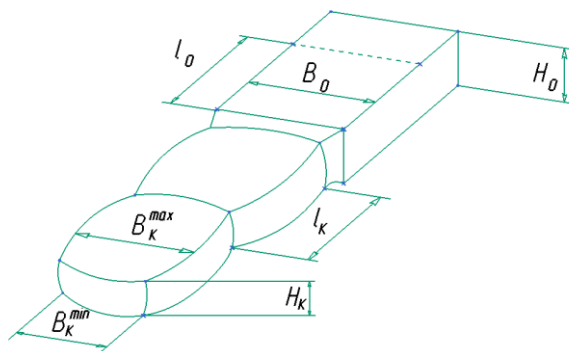


Рис. 86. Конфигурация заготовки при протяжке

Геометрический очаг пластической деформации каждого обжатия представляет собой объем $V_0 = H_0 B_0 l_0$, который после обжатия остается неизменным по величине по закону постоянства объема и равен $V_K = H_K B_K l_K$.

Величина B_K вследствие неравномерного уширения заготовки вдоль очага пластической деформации может быть рассчитана как средняя по величине:

$$B_{\text{ср}} = \frac{V_K}{B_0 \cdot l_K}.$$

Для анализа протяжки используют следующие показатели деформации: абсолютное обжатие $\Delta H = H_0 - H_K$, абсолютное уширение $\Delta B = B_0 - B_K$, абсолютное удлинение $\Delta l = l_K - l_0$.

Относительные деформации по высоте, ширине и длине.

$$\varepsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0}, \quad \varepsilon_{0B} = \frac{B_{cp} - B_0}{B_0}, \quad \varepsilon_{0l} = \frac{l_K - l_0}{l_0}.$$

Деформация за обжатие ε_{0H} при протяжке берут обычно в пределах 0,1-0,3.

В основу технологических расчетов процесса протяжки заготовок положен принцип суммирования главных линейных деформаций. Наибольшая по величине среди главных линейных деформаций каждого обжатия – это высотная деформация ε_{0H} , которая по абсолютной величине больше, чем величины главных линейных деформаций в направлениях протяжки и уширения ε_{0l} и ε_{0B} . Последовательные обжатия приводят к суммированию деформаций только вдоль оси заготовки ε_{0l} , поэтому в конце процесса эта деформация во много раз превышает деформацию по двум другим осям заготовки.

Количественное ограничение степени деформации по высоте заготовки ε_{0H} в каждом проходе связано с опасностью потери продольной устойчивости изгиба заготовки после кантовки (рис. 87).

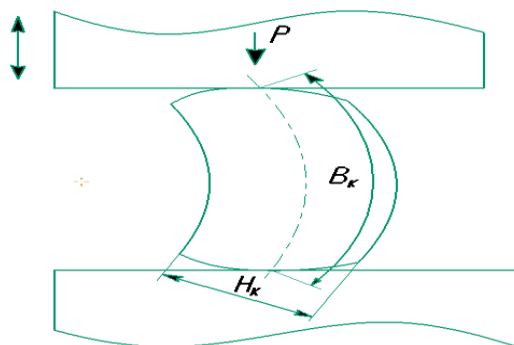


Рис. 87. Схема потери устойчивости заготовки при обжатии

Для предотвращения этого явления необходимо соблюдать следующие условия $\varphi = B_K/H_K \leq 2,5$, где φ – коэффициентом перехода.

Рассмотрим поперечное сечение заготовки в момент окончания очередного обжатия при протяжке на рис. 88.

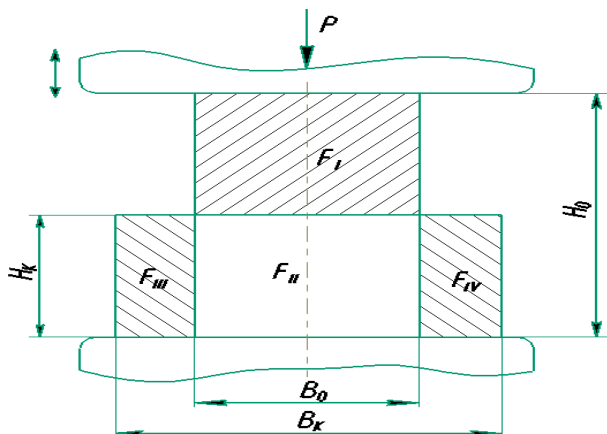


Рис. 88. Схема изменения поперечного сечения заготовки

Можно условно принять, что площадь F_I смещается в результате деформации, площадь F_{II} остается неизменной, а площади F_{III} и F_{IV} появляются в результате уширения при осадке. Так как на уширение идет лишь часть смещенного объема металла, то равенство $F_{III} + F_{IV} = fF_I$ действительно при условии $f < 1$.

Перепишем это неравенство с учетом линейных размеров заготовки

$$(B_K - B_0)H_K = f(H_0 - H_K)B_0.$$

Откуда

$$f = \frac{(B_K - B_0)H_K}{(H_0 - H_K)B_0} = \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}} < 1.$$

Коэффициент f называют коэффициентом интенсивности уширения.

Преобразуем уравнение (1)

$$B_K H_K - B_0 H_0 = f B_0 H_0 - f B_0 H_K.$$

Так как $F_0 = B_0 H_0$ и $F_K = B_K H_K$, то $F_K - B_0 H_K = f F_0 - f B_0 H_K$.

Откуда $F_K = B_0 H_K + f F_0 - f B_0 H_K$ или

$$F_K = B_0 H_K (1 - f) + f F_0.$$

Разделим левую и правую часть на $F_0 = B_0 H_0$. Получим

$$\frac{F_K}{F_0} = f + \frac{B_0 H_K}{B_0 H_0} (1 - f) = f + \frac{H_K}{H_0} (1 - f).$$

Деформация по высоте

$$\varepsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0} = 1 - \frac{H_K}{H_0}.$$

Или

$$\frac{H_K}{H_0} = 1 - \varepsilon_{0H}.$$

После подстановки в (2)

$$\begin{aligned} \frac{F_K}{F_0} &= f + (1 - \varepsilon_{0H})(1 - f) = f + 1 - \varepsilon_{0H} - f + f \varepsilon_{0H} = \\ &= 1 - \varepsilon_{0H}(1 - f). \end{aligned}$$

Таким образом, получена формула для расчета коэффициента уковки при протяжке

$$K = \frac{F_K}{F_0} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}(1 - f)}. \quad (8)$$

Из анализа формулы (8) видно, что при постоянном значении f в процессе обжатия K с ростом относительного обжатия увели-

чивается, при постоянном значении ε_{0H} уковка возрастает с уменьшением коэффициента интенсивности уширения, достигая экстремума при $f = 0$.

Рассмотрим изменения продольного сечения заготовки за единичное обжатие (рис. 89).

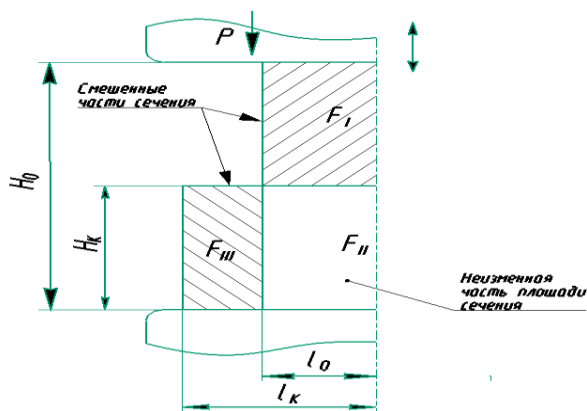


Рис. 89. Изменение продольного сечения заготовки

Так как на удлинение идет лишь часть смещенного объема металла F_I , то равенство

$$F_{III} = q \cdot F_I.$$

Действительно при условии $q < 1$.

С учетом линейных размеров продольного сечения заготовки

$$(l_K - l_0) \cdot H_K = q(H_0 - H_K) \cdot l_0.$$

Откуда

$$q = \frac{(l_K - l_0)H_K}{(H_0 - H_K)l_0} = \frac{\varepsilon_{0l}}{\varepsilon_{KH}} < 1,$$

где q – коэффициент интенсивности удлинения.

Известно, что связь между относительными деформациями по трем осям, характеризуется соотношением

$$\varepsilon_{KL} = \varepsilon_{0B} + \varepsilon_{0l} + \varepsilon_{0B} \cdot \varepsilon_{0l}.$$

Откуда

$$\frac{\varepsilon_{0l}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{0B} \cdot \varepsilon_{0l}}{\varepsilon_{KH}} = 1, \quad \frac{\varepsilon_{0l}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{0B}}{\varepsilon_{KH}} (1 + \varepsilon_{0l}) = 1,$$

или

$$q + f(1 + \varepsilon_{0l}) = 1.$$

Так как

$$K = \frac{F_K}{F_0} = \frac{l_K}{l_0} = \frac{l_K}{l_0} - 1 + 1 = \frac{l_K - l_0}{l_0} = 1 + \varepsilon_{0l},$$

то

$$q = 1 - fK.$$

Поскольку $K > 1$, то сумма $(q+f) < 1$, в отличие от суммы коэффициента уширения C_B и коэффициента удлинения C_H , выражаемых через логарифмические деформации.

Действительно, из условия постоянства объема, имеем

$$\frac{BLH}{B_0 L_0 H_0} = 1.$$

После деформирования

$$\ln \frac{B}{B_0} + \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{H}{H_0} \text{ или } e_B + e_L = e_H.$$

Откуда

$$\frac{e_B}{e_H} + \frac{e_L}{e_H} = 1.$$

Обозначим $C_B = e_B/e_H$, $C_L = e_L/e_H$, тогда $C_B + C_L = 1$.

4.3 Влияние параметров протяжки на величину коэффициента интенсивного уширения

Экспериментально установлено, что коэффициент интенсивного уширения f зависит от следующих основных технологических параметров протяжки:

- абсолютной подачи ℓ_0 – длиной, на которую подается заготовка в бойки за каждое обжатие;
- величины относительной подачи $\Psi = \ell_0/B_0$, где B_0 – ширина заготовки;
- относительной степени деформации по высоте $\varepsilon_{0H} = (H_0 - H_k)/H_0$;
- относительных размеров заготовки, протягиваемой в данном проходе $m = H_0/B_0$;
- коэффициента укова K ;
- коэффициента трения μ .

В процессе протяжки наблюдается как отдельное, так и взаимосвязанное влияние этих параметров на формоизменение заготовки.

Наибольшее влияние на коэффициент интенсивности уширения f оказывает относительная подача Ψ .

В направлении, поперечном действию силы P , металл стремится течь в направлениях наименьшего сопротивления т.е. по направлению кратчайших нормалей к контуру очага пластической деформации. Однако наличие деформированных и недеформированных частей заготовки искажает такую схему (рис. 90). Из рисунка видно, что с увеличением относительной подачи Ψ , увеличивается объём металла, смещенный в ширину, и, следовательно, и коэффициент интенсивного уширения f .

При относительных подачах $\Psi > 1$ с увеличением коэффициента трения μ , f увеличивается, а при $\Psi < 1$ – уменьшается.

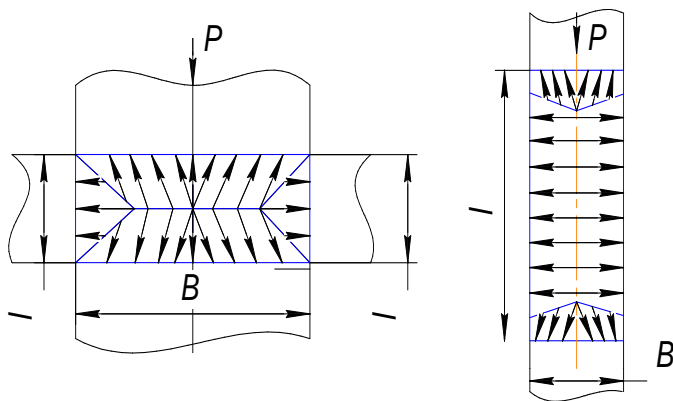


Рис. 90. Картина течения металла при обжатии

При изменении относительной степени деформации по высоте ε_{0H} в пределах $0 \div 0,6$ уширение f изменяется мало. При больших степенях деформации $\varepsilon_{0H} > 0,8$ уширение снижается при $\Psi > 1$ и повышается при $\Psi < 1$. В пределе при $\varepsilon_{0H} \sim 1$ уширение при $\Psi > 1$ стремится к $0,5$.

С увеличением относительной высоты заготовки m уширение снижается при $\Psi > 1$ и увеличивается при $\Psi < 1$.

Существенное значение имеет соотношения между удлинением q и уширением f при протяжке (рис. 91).

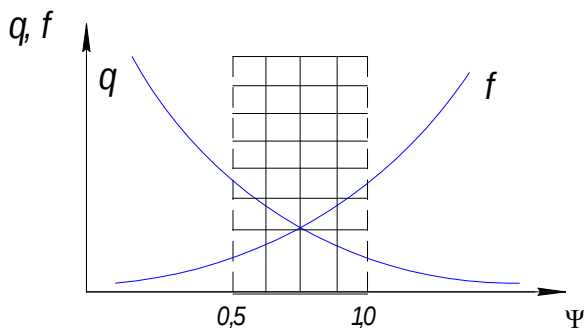


Рис. 91. Зависимость q и f от Ψ

Чем меньше уширение f и чем больше удлинение q заготовки при каждом единичном обжиге, тем больше величина уковки K . Интенсивность удлинения заготовки при каждом нажиме увеличивается с уменьшением Ψ . Однако общее количество необходимых нажимов (ударов) бойка при этом увеличивается.

Зависимость допустимых и опасных обжатий от относительных размеров каждой заготовки показана на рис. 92. Кривая I – весь металл при обжатии поступает в уширение, $\ell_0 = \ell_1$. Кривая II – весь металл течет только в длину, $V_0 = V_1$. Область между кривыми I и II соответствует реальному процессу протяжки.

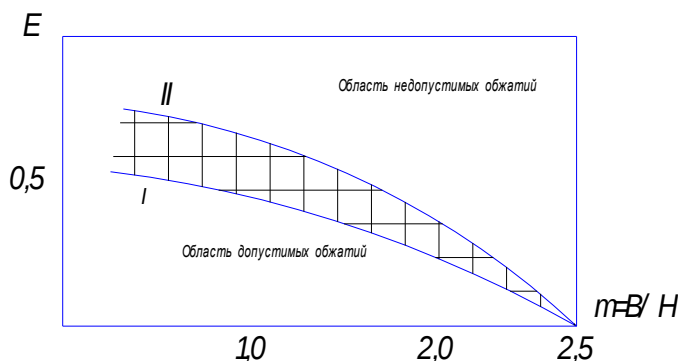


Рис. 92. Зависимость степени деформации по высоте от относительных размеров заготовки

Кривая II характеризует степени деформации, при которых неизбежно появление продольного изгиба после кантовки, так как в реальном процессе V_1 будет больше теоретического, поэтому участок графика выше этой кривой является областью недопустимых обжатий. Максимальные деформации на кривой I не могут привести к отношению $V_1/H_1 > 2,5$ т.е. продольному изгибу, так как в процессе протяжки действительные размеры V_1 будут меньше, чем размеры, отделяемые по кривой I.

Существуют пределы минимальной подачи, определяемые временем на протяжку и необходимостью обеспечить хорошее качество поковки без образования «зажимов» (рис. 93).

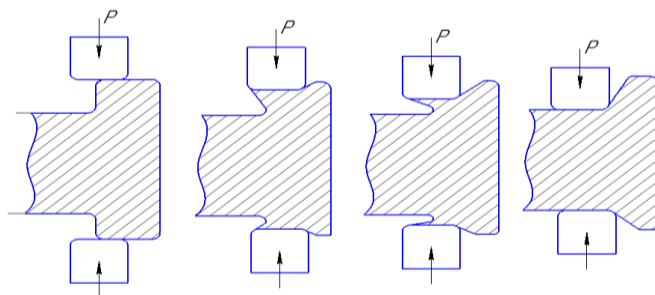


Рис. 93. Схема образования зажима

В тех случаях, когда нужно получить большое уширение, используют большую подачу, что сопровождается значительной неравномерностью деформаций по ширине заготовки и возникновением растягивающих напряжений на боковой поверхности.

Практическое значение относительных подач обычно находится в интервале $\Psi=0,5 \div 1,0$.

Небольшие относительные подачи обуславливают появление в очаге пластической деформации растягивающих напряжений, что может привести к разрывам внутри заготовки (рис. 94).

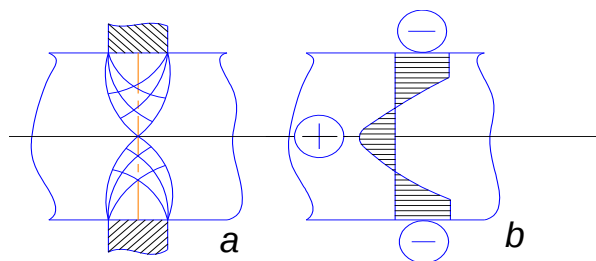


Рис. 94. Напряженное состояние при протяжке

На рис. 94,а приведено поле линий скольжения, позволяющее определить напряженное состояние при протяжке при $\Psi=0,25$, а на рис.94,б – остаточные растягивающие напряжения, достигающие значения предела текучести материала. В связи с этим при протяжке заготовок из малопластичных материалов растягивающие напряжения могут приводить к образованию трещин в виде пустот. Поэтому на практике при ковке поковок из малопластичных сплавов протяжку ведут широкими бойками при больших подачах. Трещины появляются в осевой зоне при неправильной ковке круглых поковок под плоскими бойками, когда ведут протяжку с круга на круг без перехода на квадратное сечение (рис. 95).

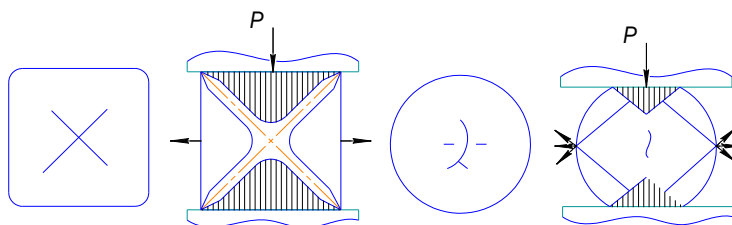


Рис. 95. Дефект поковок – свищи (пустоты)

4.4 Алгоритм и пример расчета протяжки заготовок

Для построения технологического цикла протяжки необходимо назначить степень уковки– параметр, определяющий уровень механических свойств. Наиболее оптимальный диапазон $K \leq 2 \div 4$.

1. Перед первым обжимом заготовки с размерами $B_0=H_0$ и h_0 , принимают величину относительной подачи $\Psi=\ell_0/B_0$ (рис. 96). Тогда

$$\ell_0 = \Psi \cdot B_0.$$

2. Производят выбор относительной деформации по высоте ϵ_{0H} .

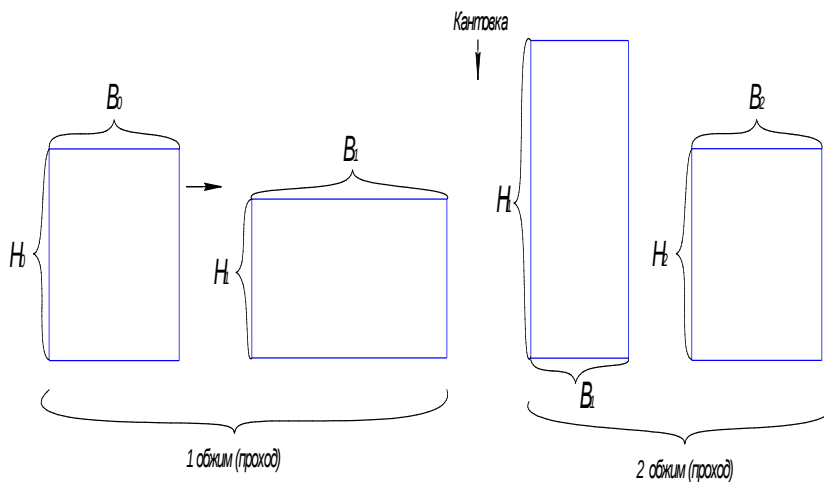


Рис. 96. Первый переход

3. Рассчитывают высоту заготовки после обжатия

$$H_k = (1 - \varepsilon_{0H}) \cdot H_0$$

4. По таблице находим коэффициент интенсивного уширения f

Таблица 6. **Числовые значения коэффициента f по В.Г. Березкину**

Ψ H_0/B_0	0,5	0,7	1,0	1,6	2,0	3,0
1	0,19	0,27	0,37	0,54	0,58	0,7
2	0,22	0,26	0,31	0,41	0,47	0,58

5. Рассчитывают величину коэффициента уковки

$$K_1 = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}(1 - f)}$$

6. Определяют площадь поперечного сечения после первого обжима

$$F_k = F_0/K_1.$$

7. Находят среднюю ширину заготовки

$$B_k = F_k/H_k.$$

8. Рассчитывают коэффициент перехода

$$\varphi = B_k/H_k \leq 2,5.$$

9. Длина заготовки после первого перехода

$$L1 = L0 \cdot K.$$

10. Рассчитывают число ударов (нажимов)

$$n_1 = L0/\ell_0.$$

Второй обжим. На этом обжиге ширина B_1 , полученная на первом обжиге является высотой H_1 , а высота H_1 – шириной B_1 .

При первоначальной протяжке слитков (биллетировке) дают небольшие обжатия 20-60 мм во избежании образования трещин. При последующих обжатиях слитков степень деформации должна быть больше (15÷20) % высоты заготовки, это необходимо для более равномерной деформации по сечению и получении мелкого и однородного зерна в поковке.

Относительные подачи следует принимать в пределах $0,5 < \Psi < 1$. Границы подач следует смещать после каждого прохода. Коэффициент перехода не должен превышать $\varphi < 2 \div 2,5$.

Протяжку длинных заготовок ведут от середины к концам, это уменьшает брак по торцевой утяжке и для слитков предотвращает затягивание усадочной прибыльной раковины внутрь поковки. Подачу крупных заготовок ведут от себя т. е. по направлению к рабочему месту кузнеца, это облегчает удержание поковки, а подачу мелких заготовок ведут на себя.

При ковке длинных цилиндрических поковок следует применять вырезные бойки, это повышает производительность на 20-40%.

Рассмотрим пример расчета протяжки квадратной заготовки размерами $B_0=H_0=200$ мм и $L_0=400$ мм на квадратное сечение 140×140 мм.

Первый проход. Принимаем относительную подачу $\Psi=\ell_0/B_0=0,5$. Тогда $\ell_0=\Psi \cdot B_0=0,5 \cdot 200=100$ мм.

Примем относительную деформацию по высоте $\varepsilon_{0H}=0,4$. Высота заготовки после обжатия $H_K=(1-\varepsilon_{0H}) \cdot H_0=(1-0,4) \cdot 200=120$ мм. По табл. для $\Psi=0,5$ и $H_0/B_0=1$ имеем $f_1=0,19$. Тогда

$$K_1 = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}(1 - f_1)} = \frac{1}{1 - 0,4(1 - 0,19)} = 1,48.$$

Площадь поперечного сечения заготовки после 1-го обжима

$$F_K = \frac{F_0}{K_1} = \frac{200 \cdot 200}{1,48} = 27000 \text{ мм}^2.$$

Ширина заготовки после 1-го обжима

$$B_K = \frac{F_K}{H_K} = \frac{27000}{120} = 226 \text{ мм}.$$

Коэффициент перехода

$$\varphi_1 = \frac{B_K}{H_K} = \frac{226}{120} = 1,88 < 2,5.$$

Длина заготовки после первого обжима

$$L_K=L_0 \cdot K_1=400 \cdot 1,48=590 \text{ мм}.$$

Число ударов (нажимов)

$$n_1 = \frac{L_0}{\ell_0} = \frac{400}{100} = 4.$$

Второй проход. Ширина B_K , полученная на первом проходе является высотой H_0 , а высота H_K шириной B_0 . Принимаем величину подачи $\Psi=1,0$. Тогда $\ell_0=\Psi \cdot B=1 \cdot 120=120$ мм. Обжим пробуем вести на конечный размер $H_K=140$ мм. Тогда

$$\varepsilon_{0H} = \frac{H_0 - H_K}{H_0} = \frac{226 - 140}{226} = 0,38.$$

По табл. 6 $H_0/B_0=2$, $\Psi=1$, $f_2=0,31$. Тогда коэффициент уковки в втором проходе

$$K_2 = \frac{1}{1 - \varepsilon_{0H}(1 - f_2)} = \frac{1}{1 - 0,38(1 - 0,31)} = 1,36.$$

Площадь поперечного сечения заготовки после второго обжима

$$F_2 = \frac{F_1}{K_2} = \frac{27000}{1,36} = 19800 \text{ мм}^2.$$

Ширина заготовки после 2-го обжима в пределах допуска соответствует требуемой

$$B_2 = \frac{F_2}{H_2} = \frac{19800}{140} = 141 \text{ мм}.$$

Длина заготовки после второго обжима

$$L_2 = L_1 \cdot K_2 = 590 \cdot 1,36 = 800 \text{ мм}.$$

Число ударов (нажимов) на 2-ом обжиме

$$n_2 = \frac{L_2}{\ell_0} = \frac{590}{120} = 5.$$

4.5 Раскатка на оправке

Раскатка (раздача) на цилиндрической оправке идентична протяжке полосы без кантовки с малой подачей, а, следовательно, с малым уширением.

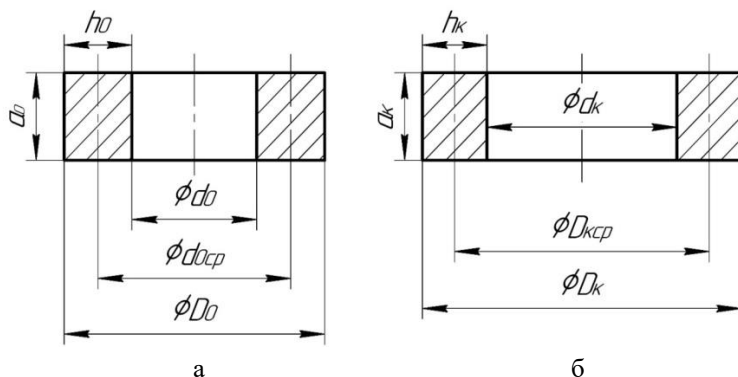


Рис. 97. Заготовка (а) и поковка (б).

Величина коэффициента уковки при раскатке на оправке

$$K = \frac{F_0}{F_K} = \frac{h_0 \cdot a_0}{h_K \cdot a_K} = \frac{D_{Kcp}}{D_{0cp}},$$

где F_0 , h_0 , a_0 , D_{0cp} – начальная площадь продольного сечения, высота, толщина стенки и средний диаметр заготовки; F_K , h_K , a_K , D_{Kcp} – конечная площадь продольного сечения, высота, толщина стенки и средний диаметр поковки (рис.97).

Ширина поковки $a_K > a_0$ вследствие уширения, возникающего при раздаче на оправке.

Приближенный расчет размеров исходной заготовки выполняют, используя коэффициент уширения f , равный 0,15, в формуле для расчета коэффициента уковки

$$K = \frac{1}{1 - \varepsilon(1 - f)}.$$

Задавая относительную степень деформации по толщине ε , определяют толщину исходной заготовки

$$h_0 = \frac{h_K}{1 - \varepsilon}.$$

Затем находят величину суммарного коэффициента уковки K , площадь продольного сечения $F_0 = K \cdot F_K$ и ширину $a_0 = F_0 / h_0$ заготовки, средний диаметр $D_{0cp} = D_{Kcp} / K$, наружный и внутренний диаметры.

$$D_0 = D_{0cp} + h_0, \quad d_0 = D_{0cp} - h_0.$$

Другой способ расчета размеров заготовки при раскатке основан на использовании эмпирической диаграммы уширения $f = B_{заг} / B_1$, показанной на рис. 98.

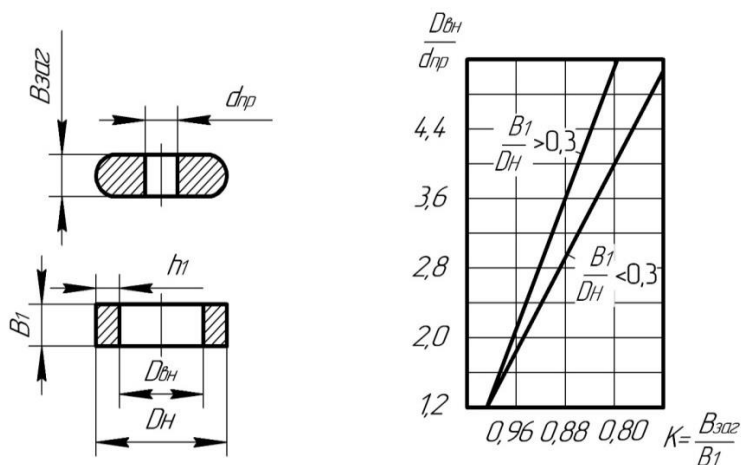


Рис. 98. Диаграмма для определения высоты заготовки перед раскаткой на молотах (по данным УЗТМ)

Вначале находят отношения $D_{BH}/d_{пр}$ и B_1/D_H и по ним по диаграмме коэффициент уширения f . Далее находят высоту осажденной заготовки под раскатку $B_{заг}=f \cdot B_1$.

4.6 Контрольные вопросы

1. В чем заключается принципиальное отличие в формоизменении при протяжке и раскатке на оправке?
2. Для каких целей применяют протяжку вырезными бойками?
3. Почему протяжку заготовок из малопластичных сплавов ведут широкими бойками при больших подачах?
4. Какова причина появления разрывов внутри протянутой заготовки?
5. Каков диапазон оптимальных величин относительных подач при протяжке?
6. В какой зоне поковки реализуются максимальные растягивающие напряжения при протяжке?
7. Какой тип дефектов при протяжке называют «ковочный крест»?
8. При каких значениях укова появляется анизотропия свойств материала при протяжке?
9. Каков оптимальный диапазон значений укова при протяжке?
10. Как определяют уширение при протяжке?
11. Процесс протяжки характеризуют следующие коэффициенты?
12. Как рассчитать длину поковки при протяжке заготовки?
13. В каких случаях применяют протяжку?
14. Перечислите основные правила протяжки.
15. В каких случаях образуется дефект «зажим» при протяжке?
16. Какие параметры протяжки оказывают влияние на величину коэффициента интенсивного уширения?

17. В каких случаях наблюдается потеря устойчивости при протяжке?
18. Опишите основные способы протяжки заготовок
19. Когда применяют кантовку заготовок при протяжке?
20. Опишите термины «проходы» и «переходы» при протяжке.
21. Что собой представляет геометрический очаг пластической деформации при протяжке?
22. Как выбрать оборудование при протяжке?
23. Как рассчитать число ударов (нажимов) при протяжке?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением. [Текст] / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423с.
2. Брюханов, А.Н. Ковка и объёмная штамповка : учебное пособие / А.Н. Брюханов. – 2-е изд., перераб.– М. : Машиностроение, 1975. – 402 с.
3. ГОСТ 7829–89 Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах – М. : Издательство стандартов. 1989 г. 40 с.
4. ГОСТ 7062–90 Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах – М. : Издательство стандартов. 2003 г. 29 с.
5. ГОСТ 3.1706-83 Правила записей и переходов – М. : Издательство стандартов. 2001 г. 6 с.
6. ГОСТ 9752-61 Молоты ковочные паровоздушные двойного действия арочного и мостового типов. Основные параметры и размеры. – М. : Издательство стандартов. 2001 г. 6 с.
7. Теория и технология горячей штамповки [Текст] : метод. указания к лаб. работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева ; [сост. В.Ю. Ненашев, А.Ю. Иголкин]. – Самара : [б. и.], 2004. – 62 с.
8. Ковка и штамповка [Текст]: справочник: в 4 т./ ред. совет: Е.И. Семенов (пред) и др. – М.: Машиностроение. – 1985. Т. 1: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка: справочное издание / А.Ю. Аверкиев, Д.И. Бережковский, Ю.С. Вильчинский и др.; под ред. Е.И. Семенова. – 1985. – 567 с.

9. Костышев, В.А. Методы формоизменения профильных кольцевых заготовок раскаткой [Текст] : [учеб. пособие] / В.А. Костышев, Ф.В. Гречников ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Самара : Изд-во СГАУ, 2007. – 82 с.
10. Справочник кузнеца-штамповщика [Текст] / В.И. Ершов, В.В. Уваров, А.С. Чумадин и др. – М.: Изд-во МАИ, 1986. – 352 с.
11. Горюханов, А.Н. Ковка и объёмная штамповка [Текст] / А.Н. Горюханов – Машиностроение, 1975. – 408 с.
12. Наумчев, Б.А. Основы теорииковки и объёмной штамповки [Текст] / Б.А. Наумчев, А.П. Атрошенко. – Куйбышев, КГПИ, 1974. – 374 с.
13. Субич, В.Н. Штамповка с кручением [Текст] / В.Н. Субич, В.А. Демин, Н.А. Шестаков, А.В. Власов. – М. : МГИУ, 2008. – 389 с.
14. Семенов, Е.И. Ковка и объёмная штамповка. Учебник для вузов [Текст] / Е.И. Семенов. – М. : Высшая школа, 1972. – 352 с.
15. Сторожев, М.В. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов [Текст] / М.В. Сторожев, П.И. Середин, С.Б. Кирсанова. – М.: Высшая школа, 1967. – 350 с.
16. Теория и технологияковки [Текст] / Л.Н. Соколов, Н.К. Голубятников, В.Н. Ефимов, И.П. Шелаев – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 317 с.
17. Титов, Ю.А. Свободная ковка. Основные операции и технологии [Текст] / Ю.А. Титов, А.Ю. Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 73 с.
18. Барановский, М.А. Лабораторный практикум по теории пластической деформации, технологииковки, горячей и холодной штамповки [Текст]: учебное пособие / М.А Барановский, И.Г. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1987. – 232 с.

19. Охрименко, Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства [Текст]: учебное пособие / Я. М. Охрименко. – М.: Машиностроение, 1989. – 500 с.
20. Тарновский, И.Я. Теория обработки металлов давлением [Текст] / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго, В.Л. Колмогоров, В.Н. Трубин и др. – М.: Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии, 1963 – 678 с.
21. Семенов, Е.И. Технология и оборудованиековки и горячей штамповки [Текст] / Е.И. Семенов. – М.: Машиностроение, 1999. – 384 с.
22. Охрименко, Я.М. Теория процессовковки [Текст]: учеб. пособие для вузов / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин. – М.: Высшая школа», 1977. – 295 с.
23. Юсипов, З.И. Ручнаяковка [Текст] / З.И. Юсипов, Н.И. Ляпунов. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.
24. Тюрин, В.А. Теория и процессыковки слитков на прессах / В.А. Тюрин. – М.: Машиностроение, 1979. – 240 с.
25. Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник / Н.И. Корнеев, В.М. Аржаков, Б.Г. Бармашенко и др.– М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.
26. Воронцов, А.Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие: в 2 т. [Текст] / А.Л. Воронцов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
27. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением [Текст] / Ю.И. Рыбин, А.И. Рудской, А.М. Золотов. – Санкт-Петербург: Наука, 2004. – 645 с.
28. Тарновский, И.Я. Свободнаяковка на прессах. – М.: Машиностроение, 1967. – 328 с.
29. Навроцкий, А.Г. Кузнечное ремесло [Текст] / А.Г. Навроцкий – М., 1988.
30. Вишневецкий, А.Ф. Технология ручнойковки [Текст] / Я.С. Вишневецкий. – М.: Высшая школа, 1976. – 288 с.

31. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке / под ред. М.В. Сторожева. – М.: Машиностроение, 1958. – 643 с.
32. Теория и технология процессовковки и прессования: Составление чертежа поковки и разработка технологииковки. Учеб. метод. пособие/А.Г. Кобелев, В.А. Тюрин, М.А. Шаронов, Ю.М. Антошенков.- М.: МИСИС,2002.-64 с.

ГЛОССАРИЙ

Ковка – это обработка металлов давлением, при которой многократным и прерывным воздействием универсального инструмента металл последовательно пластически деформируется, постепенно приобретая заданные формы и размеры.

Поковка – это полуфабрикат, полученный в результате законченного технологического процессаковки.

Технологический процессковки – совокупность действий, непосредственно связанных с изменением формы исходной заготовки, ее свойств и состояния, а также транспортирование от момента поступления заготовки в обработкуковкой до полученияпоковок.

Операция – часть технологического процессаковки, осуществляемая одним или несколькими рабочими на одной машине и охватывающая собой все последовательные действия над данной заготовкой до начала обработки следующей заготовки.

Исходная заготовка – материал, предназначенный для первой операции технологического процессаковки.

Переход – часть операции, ограничиваемая неизменностью: заготовки, инструмента, обрабатываемого участка заготовки.

Осадка – Уменьшение высоты заготовки с одновременным увеличением ее поперечных размеров.

Высадка – одновременное увеличение поперечных размеров части заготовки с уменьшением ее размеров.

Протяжка – увеличение длины заготовки с одновременным уменьшением ее поперечных размеров.

Биллетировка – протяжка слитка с целью придания ему цилиндрической или призматической формы.

Раскатка – увеличение диаметра кольцевой заготовки, имеющей форму тела вращения.

Разгонка – местное уширение заготовки за счет уменьшения ее толщины.

Раздача – увеличение поперечных размеров полости или отверстия в заготовке заготовки.

Прошивка – образование полости в заготовке за счет вытеснения металла.

Передача – смещение части заготовки относительно продольной ее оси.

Засечка – выделение части объема заготовки путем углублений по ее границам.

Проглаживание – устранение неровностей на поверхности заготовки путем обжата.

Калибровка – придание заготовки точных размеров и формы.

Рубка – разделение заготовки на части при помощи соответствующего кузнечного инструмента.

Отрубка – рубка, при которой от заготовки отделяется ее часть.

Обрубка – рубка, при которой производится отделение отхода от изделия.

Оттяжка – протяжка концевой части заготовки.

Прожимка – местное уменьшение площади поперечного сечения заготовки путем обжата.

Обкатка – придание заготовки тела вращения путем повторных ударов или нажатий.

Подкатка – обкатка части заготовки.

Кузнечная сварка – соединение заготовок, нагретых до сварочной температуры, с применением давления.

Выдра – отход металла при прошивке отверстий в поковках.

Обсечка – отход металла заготовки при разрубке и зачистке торцов поковок.

Допуск – разность между наименьшим и наибольшим предельными размерами поковки.

Припуск – превышение размеров поковки против номинальных размеров детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые размеры детали и чистоту ее поверхности.

Напуск – увеличение припуска, упрощающее конфигурации заготовки.

Уступ – участок поковки с меньшим поперечным сечением, чем смежный с ним участок.

Выступ – участок поковки с большим поперечным сечением, чем смежный с ним участок.

Выемка – участок поковки, диаметр или сторона которого меньше диаметра или сторон двух смежных с ним участков.

Бурт – неконцевой участок поковки увеличенного поперечного сечения, у которого длина равна или меньше $0,3 D$ или $0,3B$ (D – диаметр бурта, B – большая сторона прямоугольника).

Фланец – концевой участок вала увеличенного диаметра или стороны прямоугольника, у которого $l \leq 0,3D$ или $l \leq 0,3 B$ (D – диаметр бурта, B – большая сторона прямоугольника).

Перегрев – это явление быстрого роста зерна в металле при нагреве под ковку выше допустимых температур.

Пережог – это окисление границ зерен (иногда до оплавления) металла при нагреве до температуры, близкой к точке плавления.

Наковальня – это большой, тяжелый металлический блок, который поддерживает рамную конструкцию и остается неподвижным во время кузнечных работ. Также металлический блок, на котором выполняет поковки кузнец.

Бобышка. Относительно короткий выступ или выпуклость из поверхности поковки или отливки, часто цилиндрической формы. Обычно предназначается для сверления и присоединения деталей.

Учебное издание

*Каргин Владимир Родионович,
Каргин Борис Владимирович,
Арышенский Евгений Владимирович*

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ

Учебное пособие

Текст печатается в авторской редакции
Подготовка оригинал-макета Л.Р. Дмитриенко

Подписано в печать 02.04.2021. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 9,0.
Тираж 50 экз. Заказ .

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.