**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

В. Р. КАРГИН, Р. ЗАББАРОВ, М. В. ХАРДИН

ВВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЮ

Часть 2

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

С А М А Р А 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В. Р. КАРГИН, Р. ЗАББАРОВ, М. В. ХАРДИН

ВВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЮ

Часть 2

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

С А М А Р А
Издательство СГАУ
2011

УДК СГАУ: 621.7/9(075)
ББК СГАУ: 34.5
К 218

Рецензенты: д-р техн. наук В. А. Михеев;
д-р техн. наук, проф. В. А. Костышев

Каргин В. Р.

К 218 **Введение в металлургию**: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2. Обработка металлов давлением / *В. Р. Каргин, Р. Заббаров, М. В. Хардин.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 68 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-0840-1

Рассматриваются в популярной форме история и состояние процессов обработки металлов давлением: ковки, волочения, прокатки, прессования, штамповки. Описана роль инженера в современном производстве.

Пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину "Введение в металлургию" по направлению подготовки 150400 "Металлургия" и специальности 150106 "Обработка металлов давлением", а также для профессиональной ориентации молодежи.

УДК СГАУ: 621.7/9(075)
ББК СГАУ: 34.5

ISBN 978-5-7883-0840-1

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. КОВКА 4

2. ВОЛОЧЕНИЕ 18

3. ПРОКАТКА 29

4. ПРЕССОВАНИЕ 43

5. ШТАМПОВКА 54

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 65

1. КОВКА

Ковка металлов – один из наиболее древних видов обработки металлов давлением. Она появилась одновременно с открытием человеком металла и долгое время оставалась единственным способом обработки металлов давлением.

В настоящее время ковку осуществляют на молотах и прессах.

В качестве инструмента используют бойки, один из которых крепится к подвижному органу кузнечной машины, а второй закрепляется на столе пресса или молота. Верхний боек совершает возвратно-поступательное движение.

Ковка – самый универсальный вид обработки металлов давлением, заключающийся в изменении формы и размеров нагретой заготовки путем последовательного воздействия универсальным инструментом на отдельные участки заготовки. Заготовки, получаемые ковкой, называются ПОКОВКАМИ. Поковки могут иметь самую разнообразную форму и массу от нескольких граммов до 350 т и более. Большие поковки получают непосредственно из слитков, поковки средних и малых размеров – из прокатных заготовок.

Ковку применяют для получения поковок упрощенной формы в условиях единичного и мелкосерийного производства: шатуны, рычаги, крюки, кольца, диски, оси, валы и т.п. Ковка – единственный способ получения экзотической продукции (решетки, ворота, калитки и т.п.), рис. 1.

Без ковки не обойтись при получении таких деталей, как многотонные валы мощных гидрогенераторов и турбин, гребные валы атомоходов и супертанкеров. Также незаменима ковка и при производстве крупных пустотелых поковок: сосудов и котлов высокого давления, барабанов, колец.

Процесс ковки изделий состоит из чередования отдельных кузнечных операций: осадки, протяжки, прошивки, раскатки на оправке, отрубки, гибки, кузнечной сварки, выполняемых в определенной последовательности.

Рис. 1. Ворота, изготовленные свободной ковкой

Осадка заключается в уменьшении высоты заготовки при одновременном увеличении площади ее поперечного сечения, рис. 2. Осадку осуществляют на плоских бойках.

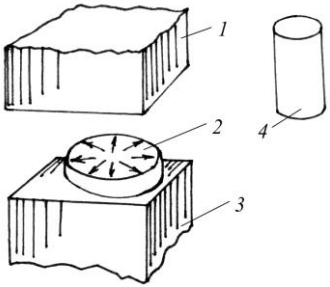

Рис. 2. Схема осадки:
1 – верхний боек, 2 – осаженная заготовка, 3 – нижний боек, 4 – заготовка

При осадке изменяются не только размеры заготовки, но и ее форма. Если осаживать цилиндрическую заготовку, то получим бочкообразное тело. Такая неравномерность деформации (бочкообразование) вызывается силами трения *T* на поверхности контакта металла с бойками и охлаждением торцов нагретой заготовки, контактирующих с инструментом. Эти силы трения затрудняют течение приконтактных слоев металла заготовки. Средние слои не испытывают сдерживающего действия контактных сил трения и поэтому деформируются в большей степени, образуя бочкообразную форму.

Для исправления бочкообразной формы используют отделочную операцию – обкатку по диаметру. Выравнивание боковой поверхности выполняют легкими ударами верхнего бойка, вращая заготовку вокруг оси, рис. 3. Операция облегчается при использовании вырезного нижнего бойка.

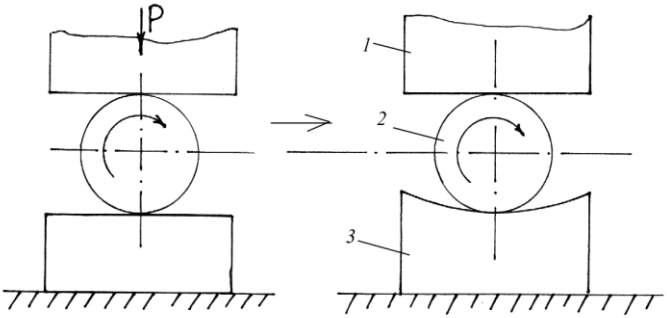

Рис. 3. Схема обкатки по диаметру:
1 – верхний плоский боек, 2 – вырезной боек, 3 – заготовка

Разновидностью осадки является осадка в подкладных кольцах, рис. 4. Она позволяет выдавить отростки с одного или одновременно с обоих торцов заготовки, в результате чего поковка приобретает ступенчатую форму с утолщенной серединой. Для облегчения удаления заготовки из колец после осадки стенки отверстий имеют уклон до 7°.

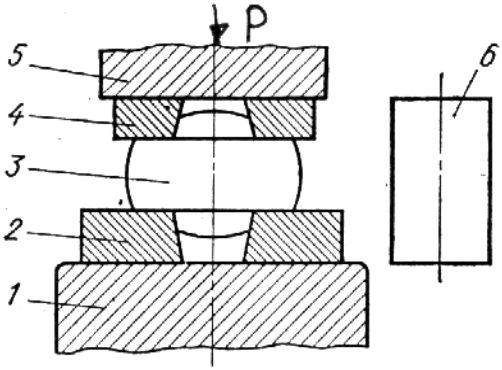

Рис. 4. Схема осадки в подкладных кольцах:
1 – нижний боек, 2 – нижнее кольцо, 3 – заготовка после осадки,
4 – верхнее кольцо, 5 – верхний боек, 6 – заготовка

Другой разновидностью осадки является высадка, когда деформируется только часть заготовки, рис. 5, а.

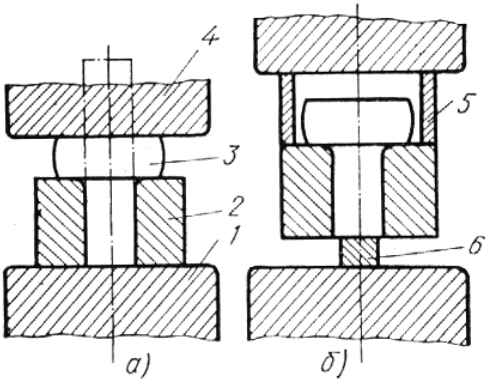

Рис. 5. Схемы высадки (а) и удаления заготовки (б):
1 – нижний боек, 2 – кольцо, 3 – заготовка, 4 – верхний боек,
5 – съемное кольцо, 6 – подкладка

Длина выступающего из кольца конца заготовки не должна превышать 2,5 диаметра во избежание продольного изгиба.

Для удаления высаженной заготовки (рис. 5, б) кольцо 2 приподнимают и ставят на подкладку 6, диаметр которой меньше диаметра стержня поковки. Затем устанавливают съемник-кольцо 5. Далее нажатием верхнего бойка 4 на съемник удаляют поковку.

Для увеличения площади уже осаженной заготовки за счет уменьшения ее толщины в отдельных частях или увеличения диаметра заготовки, если мощность молота (пресса) оказывается недостаточной, применяют операцию осадки разгонкой, рис. 6.

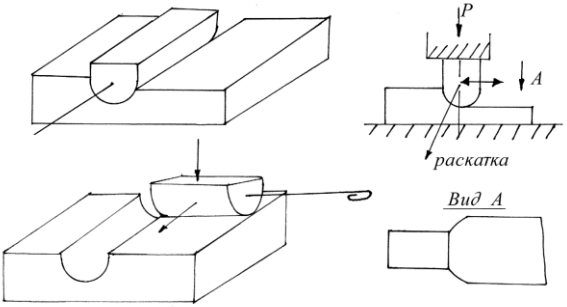

Рис. 6. Схема осадки разгонкой полукруглой раскаткой

Для разгонки применяют полукруглую раскатку, которую накладывают на заготовку под боек молота и после каждого удара перемещают вдоль уширяемой части заготовки. После разгонки поверхность полотна заготовки оказывается волнистой и для ее выравнивания пользуются плоскими раскатками (гладилками).

Процесс разгонки бойком молота для увеличения диаметра заготовки аналогичен осадке раскаткой, только роль раскатки выполняет верхний боек (рис. 7). Заготовку устанавливают на нижний боек 1 и подставку 3 и разгоняют полотно верхним подвижным бойком 2. После каждого удара заготовку поворачивают вокруг вертикальной оси на некоторый угол.

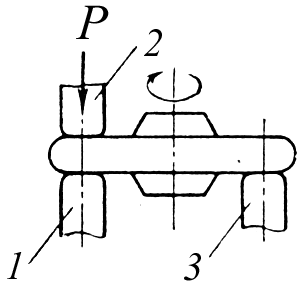

Рис. 7. Схема осадки разгонкой бойками:
1 – нижний боек, 2 – верхний боек, 3 – подставка

Осадку применяют как самостоятельную операцию для изготовления поковок типа дисков, шестерен, фланцев и дисков с бобышками и как промежуточную операцию процесса ковки.

Протяжка заключается в удлинении заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения, рис. 8.

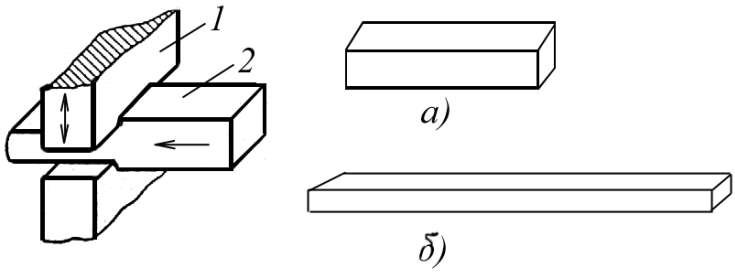

Рис. 8. Схема протяжки заготовки:
а) до протяжки, б) после протяжки

При протяжке в отличие от осадки заготовку обрабатывают участками, последовательно задавая ее под узкие бойки. 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. 9.

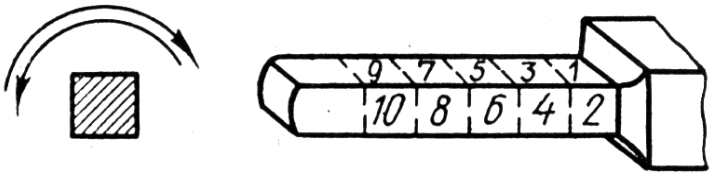

Рис. 9. Последовательность обжатий заготовки

Для получения поковок круглого сечения применяют протяжку вырезными бойками, рис. 10. В этом случае течение металла в стороны сдерживается стенками бойков, что дает возможность протягивать более интенсивно.

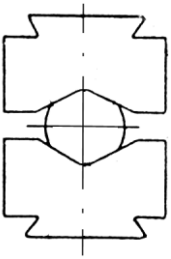

Рис. 10. Схема протяжки в вырезных бойках

Протяжка является основной операцией при ковке гладких и ступенчатых валов, коленчатых валов, шатунов и т.п.

Прошивка служит для получения в заготовке сквозных и несквозных отверстий с помощью прошивня и надставок, рис. 11.

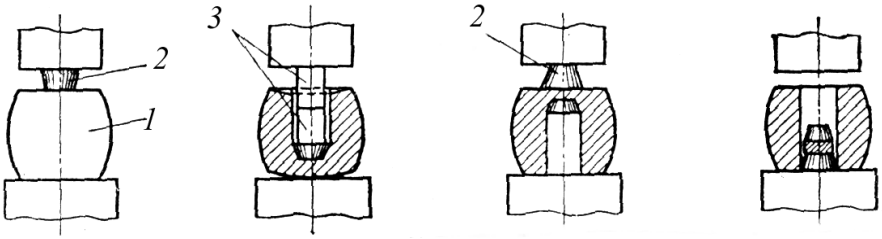

Рис. 11. Схема прошивки:
1 – заготовка, 2 – прошивень, 3 – надставка

Прошивень конической формы устанавливают на заготовку меньшим торцом вниз и ударами молота или нажатием пресса вгоняют в металл. При этом вначале легким ударом (нажатием) прошивень вдавливают на небольшую глубину. Вынув прошивень, насыпают в образовавшееся углубление толченый уголь, кокс или графит, что устраняет опасность сваривания прошивня с металлом. Вставив прошивень в углубление с насыпанным порошком, вгоняют его на большую глубину.

Дальнейшее внедрение прошивня в заготовку производят с помощью одной или нескольких цилиндрических надставок, диаметр которых несколько меньше диаметра прошивня. Прошивку заканчивают с оставлением перемычки, толщина которой приблизительно равна 1/3 высоты прошиваемой заготовки. Прошивка с оставлением перемычки меньшей толщины не рекомендуется, так как при этом резко возрастает усилие прошивки и возникает опасность подсадки прошивня. Таким образом получают заготовку с несквозным отверстием.

Для получения сквозного отверстия после прошивки заготовку с углублением кантуют на 180°, в результате чего надставки выпадают из отверстия, а прошивень остается в заготовке. На заготовку устанавливают другой прошивень (теперь меньшим торцом вверх), диаметр которого несколько меньше диаметра первого и производят пробивку отверстия с удалением перемычки и основного прошивня.

Раскатку на оправке применяют при ковке кольцеобразных поковок путем увеличения наружного и внутреннего диаметров прошитой заготовки за счет уменьшения толщины стенки, рис. 12.

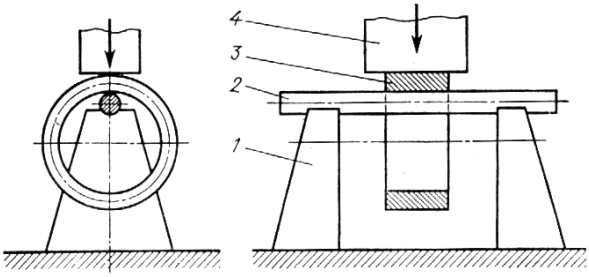

Рис. 12. Схема раскатки на оправке:
1 – стойка, 2 – оправка, 3 – заготовка, 4 – верхний боек

Процесс является разновидностью протяжки, так как можно представить, что концы заготовки соединены между собой в кольцо. Ковку ведут узким верхним бойком, располагая его длинной стороной параллельно цилиндрической оправке, опирающейся на боек-скобу или две стойки. При этом желательно, чтобы длина бойка перекрывала длину поковки (высоту кольца).

После каждого обжатия оправку поворачивают, благодаря чему несколько поворачивается и кольцо. В результате раскатки наружный и внутренний диаметры кольца увеличиваются, а толщина стенки уменьшается. В ширину кольцо раздается незначительно.

Отрубка служит для отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку кузнечного топора, разделения прутков на мерные заготовки и удаления излишков металла, рис. 13. Нагретую заготовку укладывают на нижний боек, сверху накладывают топор. При ударе ее надрубают топором почти на всю высоту, оставляя небольшую перемычку во избежание порчи лезвия топора и опорной части нижнего бойка.

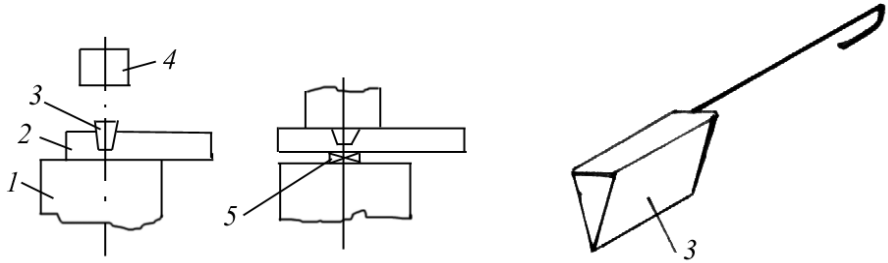

Рис. 13. Схема кузнечной операции отрубки:
1 – нижний боек, 2 – заготовка, 3 – топор, 4 – верхний боек, 5 – просечка

Вынув топор, заводят под надрубленную часть заготовки квадратную просечку и ударом верхнего бойка разрубают заготовку. Разрубку заготовки выполняют также с предварительной ее кантовкой на 180°, в этом случае квадрат устанавливают сверху над перемычкой. При этом место установки квадрата определяют по потемневшему (остывшему) металлу перемычки.

Гибку используют для придания заготовке заданной изогнутой формы, рис. 14. С помощью этой кузнечной операции получают угольники, кронштейны, крюки, хомуты и т.п.

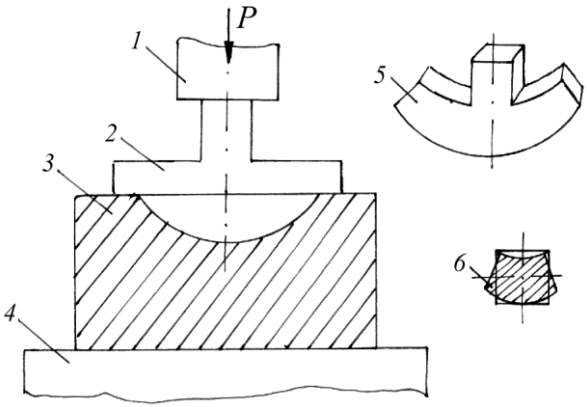

Рис. 14. Схема гибки:
1 – верхний боек, 2 – заготовка, 3 – штамп подкладной,
4 – нижний боек, 5 – готовая поковка, 6 – искажение сечения

Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки. Наружные слои заготовки на участке изгиба подвергаются растяжению, а внутренние – сжатию. В результате квадратное сечение приобретает форму неправильной трапеции.

Кузнечная сварка служит для соединения в одно целое отдельных частей заготовки. Место соединения предварительно нагревают до ковочной температуры, а сварку осуществляют ударами молота. Температура нагрева для сталей составляет 1200–1400°С. При этой температуре заготовка из стали приобретает ослепительно белый цвет.

Основными способами кузнечной сварки являются сварка внахлестку, вразруб и встык, рис. 15.

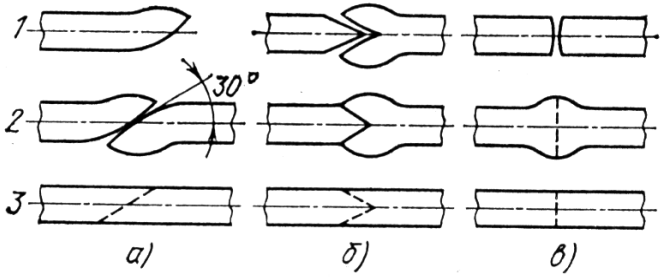

Рис. 15. Схемы кузнечной сварки:
а – внахлестку, б – вразруб, в – встык

Сварка внахлестку (рис. 15, а) является наиболее распространенным способом сварки, обеспечивающим большую площадь соприкосновения свариваемых концов. Перед сваркой концы сначала высаживают, затем отковывают в виде "лацканов" (поз. 1). После нагрева очищенные от окалины и шлака лацканы накладывают один на другой и легкими ударами прижимают друг к другу (поз. 2). При этом плоскость контакта составляет с осью заготовки угол, приблизительно равный 30°. Затем место сварки проковывают сильными ударами молота и отделывают (поз. 3).

Сварку в разруб (в замок) применяют при соединении крупных кусков металла (рис. 15, б). Один конец высаживают и разрубают, после чего его разводят. Другой конец заостряют на клин (поз. 1). После нагрева до сварочной температуры и очистки от окалины заостренный конец заводят в разруб второго конца (поз. 2). Место соединения проковывают и отделывают (поз. 3).

Сварку встык (рис. 15, в) применяют тогда, когда отковать лацканы невозможно из-за наличия рядом с местом сварки буртов, отверстий или когда требуется сварить короткие концы. В этом случае подготовка концов сводится к небольшому закруглению торцов (поз. 1) или к небольшому набору (поз. 2). После нагрева и очистки концы соединяют ударами вдоль оси заготовки по холодным торцам. Затем место сварки хорошо проковывают и отделывают (поз. 3).

Применяя рассмотренные кузнечные операции в различной последовательности из заготовки простой формы получают поковки сложной формы, рис. 16, 17, 18.

Ковку скобы (рис. 16) проводят в такой последовательности: берут заготовку квадратного сечения (рис. 16, а); оттягивают конец заготовки на клин и производят фасонную отрубку конца полукруглым топором (рис. 16, б); оформляют "ухо" с помощью фасонных накладок (рис. 16, в) и подкладного штампа (рис. 16, г); отковывают второе "ухо" (рис. 16, д, е, ж), протягивают среднюю часть заготовки на прямоугольник (рис. 16, з); изгибают заготовку после второго нагрева с помощью подкладного штампа и оправки (рис. 16, и); после третьего нагрева производят окончательную гибку скобы с помощью фасонной оправки, закладываемой внутрь скобы, и клиновых накладок (рис. 16, к); окончательно оформляют скобу с помощью подкладного штампа (рис. 16, л). В результате получают поковку, не требующую дальнейшей механической обработки.

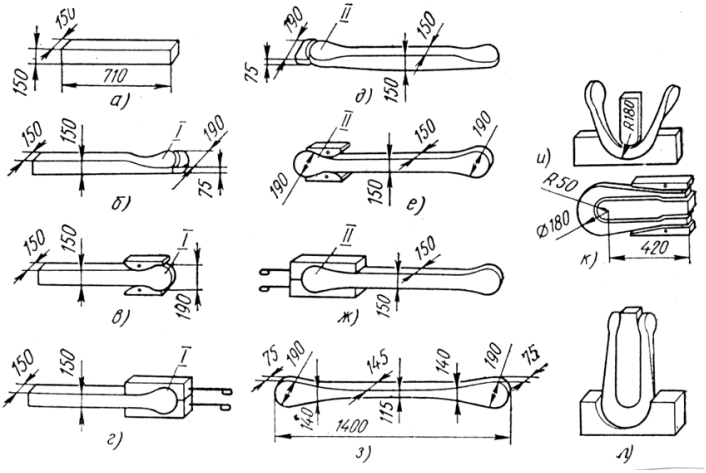

Рис. 16. Скоба

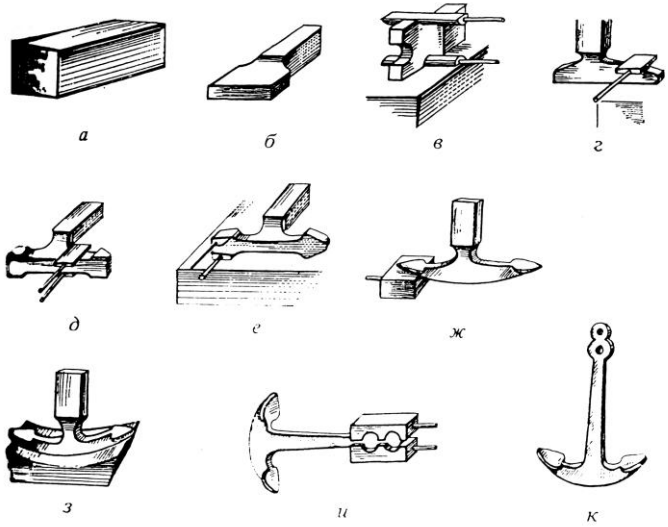

Рис. 17. Якорь:
а – исходная заготовка; б – протяжка конца заготовки на пластину толщиной, равной высоте лапы якоря; в – обжатие конца заготовки полукруглыми накладками; г – оттягивание лапы треугольными накладками; д – обжатие передней части лапы плоскими накладками; е, ж – обжатие концов лап; з – гибка лап; и – протяжка стержня якоря и формовка выступов на его конце; к – готовый якорь

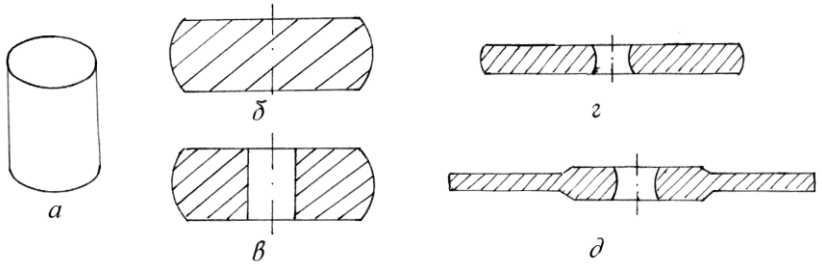

Рис. 18. Диск турбины:
а – исходная заготовка, б – осадка, в – прошивка отверстия,
г – осадка, д – разгонка

Ковка обычно ассоциируется с молотом, которым кузнец с размаху ударяет по нагретому металлу, находящемуся на наковальне. В XVI в. для ковки предложен рычажный молот, приводимый в действие водяным колесом, рис. 19. В России их называли самоковами.

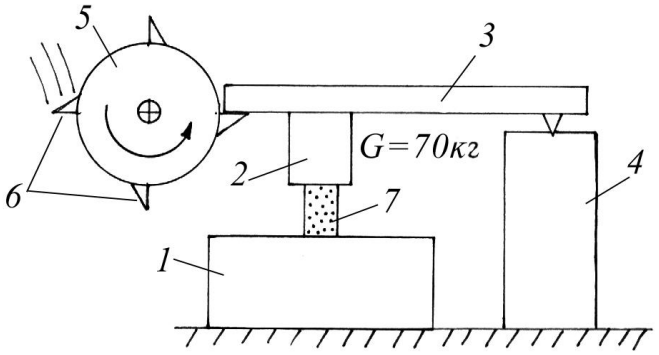

Рис. 19. Схема рычажного молота:
1 – наковальня, 2 – молот G=70кг, 3 – молотовище, 4 – стойка,
5 – водяное колесо, 6 – кулаки, 7 – заготовка

На валу колеса укреплены кулаки, которые при вращении захватывали молотовище и подбрасывали вверх. Падая под действием силы тяжести на наковальню молот совершал работу. Производительность такого молота до 200 ударов в минуту.

В настоящее время создан громадный парк кузнечных машин. Их основу составляют паровоздушные и пневматические молоты двойного действия (с принудительным ускорением падающих частей) и гидропрессы.

Схема пневматического молота, применяемого для производства поковок, приведена на рис. 20. Молот имеет два цилиндра – рабочий 1 и компрессорный 2. Поршень компрессорного цилиндра 3 приводится в движение электродвигателем через редуктор с помощью кривошинного механизма 4. При возвратно-поступательном перемещении поршня в компрессорном цилиндре над и под поршнем создается либо сжатие, либо разрежение воздуха. Через воздухораспределительный механизм 9 компрессорный цилиндр соединен с рабочим, благодаря чему сжатый воздух поступает попеременно в объем над и под рабочим поршнем. Таким образом, обеспечивается движение бабы 5 вверх и вниз совместно с верхним бойком 6. Нижний боек 7 крепится к подушке 8, устанавливаемой на шаботе молота – массивной стальной отливке; шабот на рисунке не показан. Деформируемая заготовка 10 помещается на нижний боек 7 и подвергается ударному воздействию верхнего бойка.

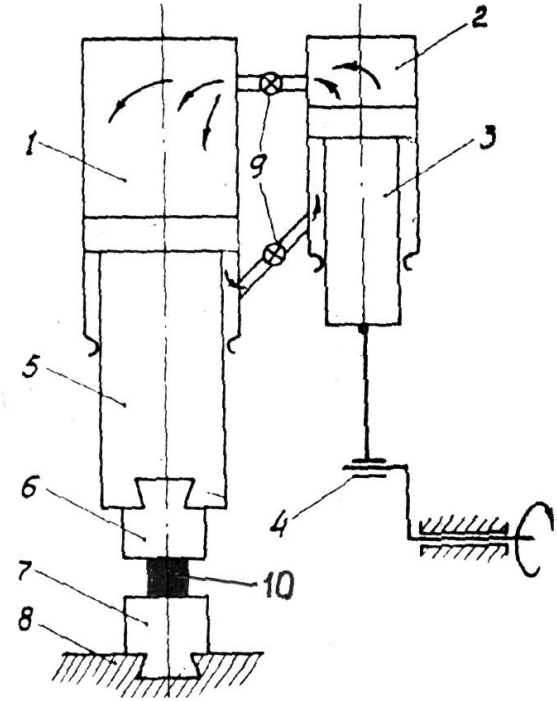

Рис. 20. Схема пневматического ковочного молота

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите кузнечные операции свободной ковки.

2. Почему при осадке цилиндрической заготовки получают бочкообразное тело?

3. Как получить поковку диска с одной бобышкой?

4. Для чего проводят обкатку по диаметру?

5. Приведите схему разгонки металла бойками.

6. Дайте определение операции протяжки.

7. Назовите инструмент, используемый при прошивке.

8. Как осуществляют раскатку на оправке?

9. Назначение операции отрубки.

10. С помощью какой операции получают поковки изогнутой формы?

11. Перечислите основные способы кузнечной сварки.

12. Как работает пневматический ковочный молот?

13. В каких случаях применяют подкладные штампы?

14. Перечислите кузнечные операции и инструмент, используемые при изготовлении топора, рис. 21.

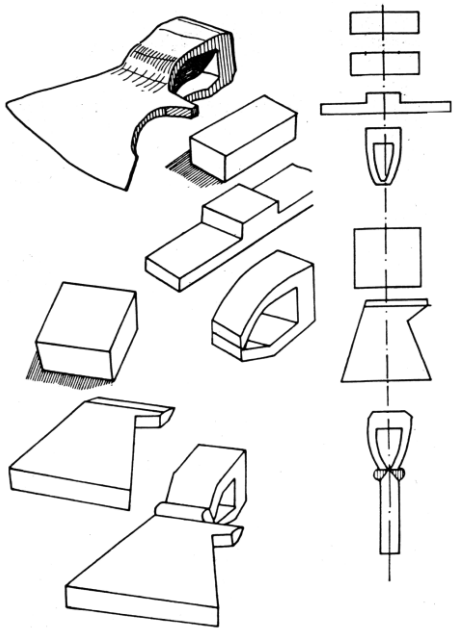

Рис. 21. Топор

2. ВОЛОЧЕНИЕ

Появление процесса обработки металлов давлением волочения относится к глубокой древности. Анализ изделий, обнаруженных при археологических раскопках в Египте, позволил сделать вывод, что проволока, полученная уже не ковкой, а волочением, использовалась египтянами около 3500 г. до нашей эры. Этот способ обработки металлов давлением первоначально использовали для получения проволоки из золота, серебра для ювелирных изделий (булавки, браслеты), а также сканного ремесла. Некоторые образцы проволоки из цветных металлов, найденные на территории России, относятся к периоду между 2-м и 1-м тысячелетиями до нашей эры.

Процесс волочения состоит в протягивании под действием силы *P* заготовки постоянного поперечного сечения 1 через плавно сужающийся канал волоки, рис. 22. Размеры выходного отверстия волоки меньше, чем сечение заготовки. В результате волочения поперечные размеры изделия 3 уменьшаются, а длина увеличивается.

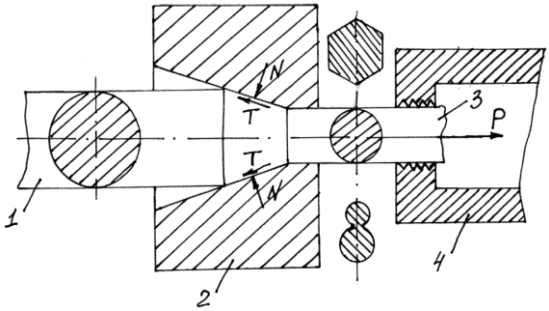

Рис. 22. Схема процесса волочения сплошных тел:
1 – заготовка, 2 – волока, 3 – изделие, 4 – захват тянущего устройства

Перед волочением один конец заготовки заостряют, чтобы этот конец, или как говорят "захватка", свободно входил в канал волоки и выходил с противоположной стороны на величину, достаточную для захвата тянущим устройством 4, рис. 23.

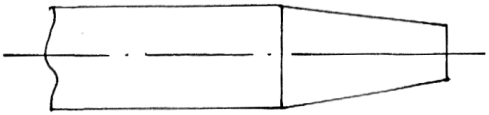

Рис. 23. Внешний вид заострения на заготовке

После захвата заготовка протягивается усилием P через волоку и становится тоньше и длиннее. В волоке возникают силы реакции N, направленные по нормали к образующей канала, которые и обжимают металл заготовки. Одновременно на заготовку действуют силы трения T, направленные в сторону, противоположную направлению волочения.

После волочения изделие приобретает высокую точность размеров, высокий класс чистоты поверхности, повышаются его прочностные свойства, благодаря холодной пластической деформации, принимает размеры и форму наименьшего сечения канала волоки. Длина изделий может достигать нескольких километров.

На протяжении тысячелетий проволока оставалась единственным видом изделий, получаемым волочением. В настоящее время волочением получают широкий ассортимент изделий в виде тончайшей проволоки от 0,002 до 25 мм, калиброванных прутков круглого, квадратного, прямоугольного, шестигранного и других, порой весьма сложных сечений. Велик объем труб обрабатываемых волочением. Обычно это либо тонкостенные трубы, либо трубы малого диаметра (капиллярные). Трубы могут иметь различные формы поперечного сечения: квадратные, прямоугольные, желобчатые и т.п. Диаметр труб, изготавливаемых волочением, находится в пределах от 0,3 до 500 мм.

Изделия, получаемые волочением, используются в различных отраслях промышленности: электротехнике, машиностроении, приборостроении, авиационной, судостроительной, автомобильной, медицинской промышленности.

Чтобы уменьшить трение между поверхностями протягиваемого металла и канала волоки между ними вводят смазку. Это уменьшает износ самого канала и расход энергии на волочение, способствует получению гладкой блестящей поверхности протягиваемого металла.

При изготовлении некруглых изделий для снижения трения применяют волоки, в которых канал образован валками, вращающимися в подшипниках, рис. 24.

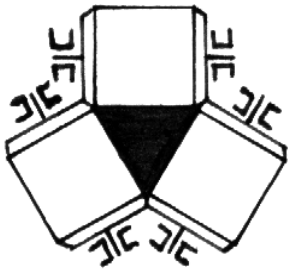

Рис. 24. Схема валковой волоки

Особенно эффективно волочение в режиме жидкостного (гидродинамического) трения. Конструкция инструмента, применяемого для этой цели на рис. 25, обеспечивает нагнетание смазки в канал волоки. Инструмент состоит из рабочего 1 и напорного 2 вкладышей, помещаемых во втулку 3. Подаваемая на заготовку и волоку смазка 4 "прилипает" к поверхности движущейся заготовки и затягивается в виде тонкого слоя через нагнетающую волоку, почти не деформирующую протягиваемое изделие. Накапливающаяся между вкладышами 1 и 2 смазка, уже находящаяся под давлением до 100 кг/мм^2, захватывается изделием 5 и затягивается в рабочую волоку. Благодаря высокому давлению смазка не выдавливается с поверхности раздела "рабочая волока – изделие", на ней создается сравнительно толстый смазочный слой, участвующий в деформации металла. При таком режиме волочения (гидродинамическом) смещение трущихся поверхностей происходит при отсутствии прямого контакта между ними, в разделительном слое смазки. В результате весьма заметно снижается сила волочения. Лучшей смазкой при волочении большинства металлов следует считать стиральный порошок или стружку натриевого мыла.

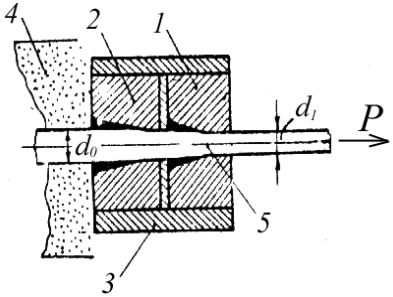

Рис. 25. Сборная волока для волочения в режиме гидродинамического трения

Наибольшим разнообразием отличаются процессы волочения труб. Существуют четыре основных способа: безоправочное волочение, волочение на короткой закрепляемой оправке, на длинной подвижной оправке и на самоустанавливающейся (плавающей) оправке. Кроме того, применяются операции раздачи труб, предназначенные для увеличения их диаметра.

Способ волочения труб без оправки (рис. 26) не отличается от волочения сплошных изделий (рис. 22). Заостренный конец трубы пропускается через волоку 1 и к нему прикладывается тянущая сила *P*. В результате обжатия трубы конической (рабочей) частью волоки происходит необратимое уменьшение диаметра трубы 2, без существенного изменения толщины стенки, при этом увеличивается ее длина. Волочение круглой трубы в волоку с каналом фасонного сечения получают трубы некруглой формы. Этот процесс называют профилированием.

Отсутствие оправок позволяет достигать повышенной производительности при волочении этим способом по сравнению с другими. Процесс достаточно прост; для его реализации может быть использовано то же оборудование, что и для волочения сплошных профилей. Однако при существенном улучшении качества наружной поверхности трубы, деформированной без оправки, при большом числе проходов ухудшается качество внутренней ее поверхности. Эта поверхность, не обрабатываемая инструментом, становится матовой.

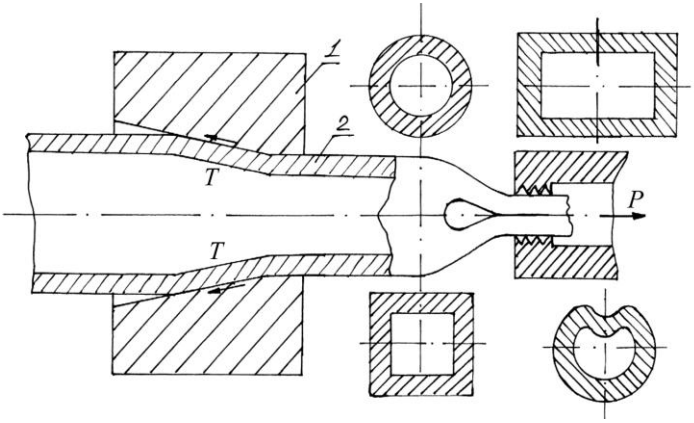

Рис. 26. Безоправочное волочение

Схема волочения труб на короткой неподвижной оправке представлена на рис. 27. Перед началом волочения труба 2 с заостренным концом надевается на цилиндрическую оправку 3, соединенную со штангой 4. Труба вместе с оправкой и штангой подается назад, а затем заостренный конец трубы вводится в канал волоки 1 и к нему прикладывается сила *P*, начинается волочение. При этом штанга с оправкой подаются вперед до упора в ограничитель перемещения штанги, и оправка занимает положение, показанное на рисунке. Труба деформируется при протягивании через кольцевой зазор, образованный оправкой и стенками волоки. Диаметр и толщина стенки заготовки уменьшаются в процессе волочения, поэтому длина трубы возрастает.

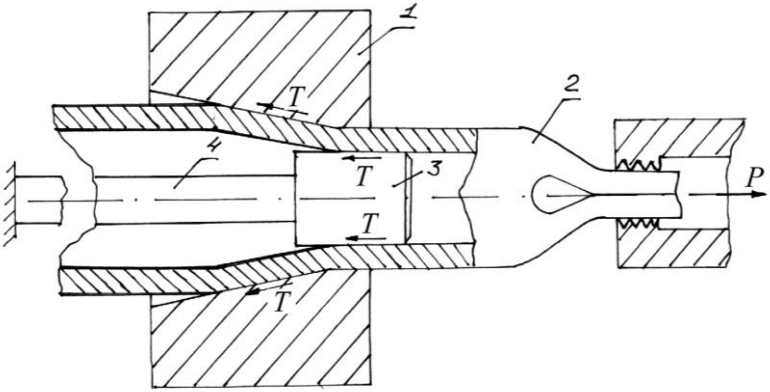

Рис. 27. Волочение на короткой неподвижной оправке

Применение оправки при волочении позволяет контролировать качество внутренней поверхности трубы: она, как и наружная, получается блестящей и чистой. Правда, при одинаковых условиях одновременно возрастает сила *P*, необходимая для волочения. Вспомним, что при взаимном смещении под давлением двух поверхностей на них возникают силы трения *T*, стремящиеся воспрепятствовать этому смещению. Для их преодоления необходимо увеличить сдвигающую силу. То же самое происходят при волочении.

При волочении без оправки силы трения, направленные навстречу перемещению трубы, будут действовать только на наружной поверхности, контактирующей с волокой, повышая силу волочения. При исполь-

зовании короткой оправки силы трения действуют как на наружной, так и на внутренней поверхности трубы, направлены они также в сторону, противоположную направлению ее движения. Естественно, что сила волочения при равных вытяжках потребуется в этом случае большая, чем в предыдущем.

Волочение на длинной подвижной оправке (рис. 28) производится следующим образом: через волоку 1 протягивается труба 2, внутрь которой предварительно вводится оправка 3. Она представляет собой длинный цилиндрический стержень с диаметром, равным внутреннему диаметру готовой трубы и длиной, несколько большей длины трубы после волочения.

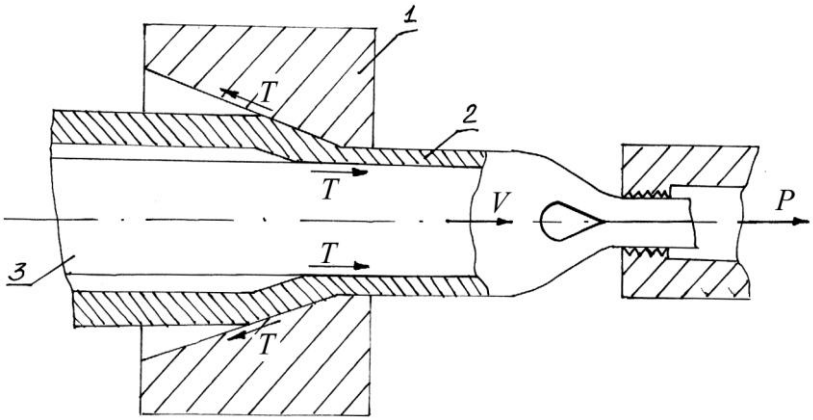

Рис. 28. Волочение на длинной подвижной оправке

При этом труба протягивается вместе с оправкой. В связи с тем, что труба во время волочения удлиняется, она скользит относительно движущейся оправки, как бы отставая от нее. В связи с этим силы трения *T*, действующие на трубу со стороны оправки, имеют направление, совпадающее с направлением волочения. Получается, что силы трения "помогают" реализации процесса; поэтому можно производить большие деформации за один проход, по сравнению с рассмотренными ранее случаями. Обжатие происходит в основном за счет уменьшения толщины стенки трубы. После волочения труба плотно охватывает оправку, поэтому извлечение оправки из трубы является дополнительной технологической операцией.

Основной недостаток волочения на подвижной и неподвижной оправках – ограниченная длина готовой трубы. Этот недостаток устраняет волочение труб на самоустанавливающейся оправке 3, показанной на рис. 29. Оправка содержит два цилиндрических тела, соединенных коническим участком. Благодаря своей форме оправка под действием сил внешнего трения *T* и выталкивающей силы *Q*, возникающих между ней и трубой, автоматически устанавливается так, что между оправкой и волокой образуется кольцевая щель, через которую протягивается силой *P* труба. Поскольку оправка не закреплена внутри трубы, этим способом можно протягивать очень длинные трубы длиной несколько километров, в основном в виде бухт.

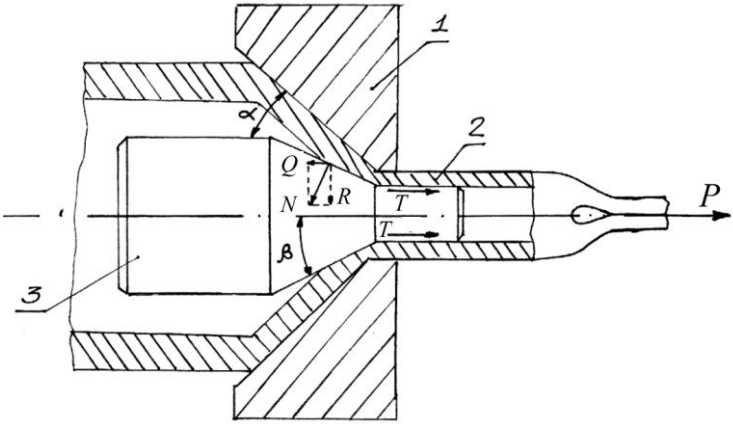

Рис. 29. Волочение на самоустанавливающейся оправке

Волочение труб раздачей применяется при изготовлении тонкостенных труб большого диаметра, для получения точных допусков по внутреннему диаметру и т.п. Существуют две схемы раздачи труб: раздача растяжением и раздача в упор (вдавливанием). Схема волочения раздачей растяжением представлена на рис. 30. Один конец трубы 1 закрепляется в люнете волочильного стана, а затем через нее протягивается коническая оправка 2 с цилиндрическим пояском, равным внутреннему диаметру готовой трубы. Оправка закрепляется на стержне 3. Увеличение диаметра тонкостенной трубы за проход достигает 5–10 мм.

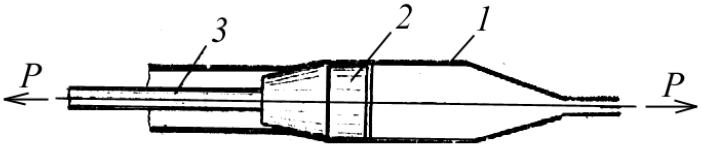

Рис. 30. Волочение труб раздачей растяжением

Если вместо оправки внутрь протягиваемой трубы разместить круглый пруток, трубу, то с помощью волочения получим составные изделия, рис. 31.

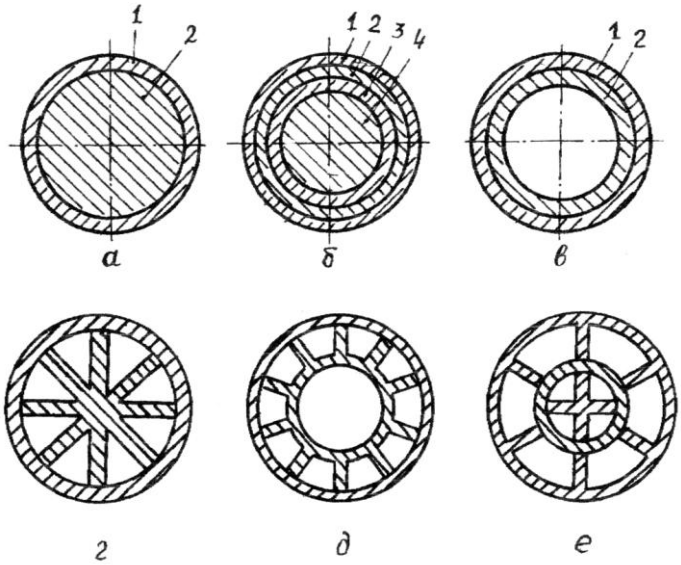

Рис. 31. Поперечные сечения составных изделий

Двуслойная проволока типа сталемедной, сталеалюминиевой на рис. 31а позволяет удовлетворить требования электротехнической промышленности в высокопрочном и высокоэлектропроводном проводниковом полуфабрикате. Аналогичная по конструкции поперечного сечения коррозионная проволока, состоящая из сердечника, изготовленного из нержавеющей стали и оболочки из коррозионно-стойкой стали, применяется для канатов, используемых в океанологии.

Конструкция для работы при температурах 800–1000°С жаростойкого проводника представляет собой медный сердечник, заключенный в ниобиевую оболочку, рис. 31б. Внешняя оболочка выполнена из жаростойкого сплава. Ниобий используется как антидиффузионный барьер. Между внешней оболочкой и ниобиевой оболочкой помещается медная оболочка, повышающая способность проводника к изгибу.

Двуслойные биметаллические трубы различных композиций металлов (углеродистая сталь – нержавеющая сталь, углеродистая сталь – медь, нержавеющая сталь – алюминий и др.) на рис. 31в широко применяется в судостроении, химическом машиностроении, энергетике. Биметаллические трубы также используют в качестве подшипников, плунжеров, работающих в условиях агрессивных сред при высокой температуре и давлении.

Ребристая многоканальная труба представляет собой сборную конструкцию из разнородных материалов, осуществляемую посадкой с натягом круглой медной оболочки диаметром 13–20 мм и толщиной стенки 0,6–0,2 мм на ребристый сердечник звездообразной формы из алюминиевых сплавов (рис. 31г) с радиально расходящимися от центра симметрии ребрами толщиной 1,0–1,5 мм. Весьма перспективными являются составные двустенные и трехстенные трубы диаметром от 20 до 64 мм из алюминиевых сплавов, рис. 31 д, е.

Основным потребителем сборных многоканальных труб является производство теплообменных и холодильных аппаратов большой производительности.

Волочение осуществляют на волочильных станах. Первый стан для изготовления проволоки построен в 1644 г., рис. 32.

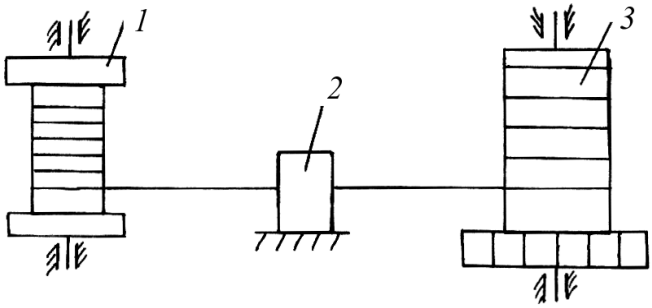

Рис. 32. Схема волочильного стана:
1 – барабан размоточный, 2 – волока, 3 – барабан тянущий

Он состоял из двух барабанов 1 и 3, между которыми размещается волочильная доска с волоками 2. Тянущий барабан приводился в движение от энергии падающей воды.

В настоящее время проволоку изготавливают на станах многократного волочения. Пройдя первую волоку, проволока наматывается на промежуточный тянущий барабан (2–3 витка), а затем поступает в следующую волоку и на промежуточный барабан и так далее, рис. 33.

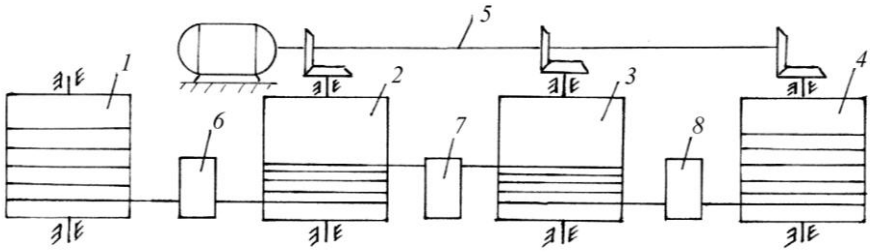

Рис. 33. Стан для многократного волочения проволоки:
1 – размоточный барабан, 2, 3 – промежуточные барабаны, 4 – приемный барабан, 5 – коническая передача, 6, 7, 8 – волоки

Волочение профилей и труб осуществляют на волочильных станах двух основных типов: цепных и барабанных. На цепных станах (рис. 34) обрабатывают заготовки (прутки, трубы) большого сечения. После того как клещевым захватом зажимается конец заготовки, он прикрепляется к непрерывной цепи, натянутой между двумя барабанами. Цепь увлекает за собой захват вместе с заготовкой и протягивает ее через волоку.

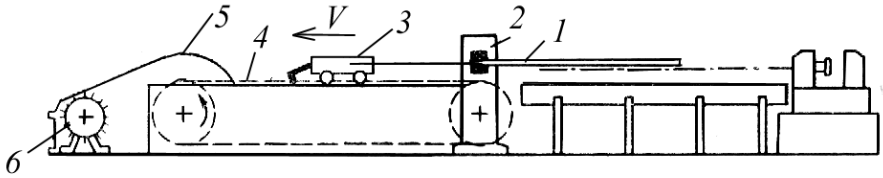

Рис. 34. Устройство цепного волочильного стана:
1 – заготовка, 2 – волока, 3 – тележка с клещевым захватом,
4 – пластинчатая цепь, 5 – редуктор, 6 – электродвигатель

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое волочение?
2. Перечислите изделия, получаемые волочением.
3. Зачем перед волочением один конец заготовки заостряют?
4. Назовите достоинства процесса волочения.
5. Как уменьшить трение между протягиваемым металлом и волокой?
6. Перечислите основные способы волочения труб.
7. При каких способах волочения труб уменьшается диаметр и толщина стенки?
8. Какой способ волочения обеспечивает волочение труб очень большой длины?
9. В каком способе силы трения, действующие на трубу со стороны оправки, имеют направление, совпадающее с направлением волочения?
10. Привести схему процесса волочения на самоустанавливающейся оправке.
11. Область использования волочения труб раздачей.
12. Какие составные изделия получают волочением?
13. Описать оборудование, используемое для волочения проволоки.
14. Что собой представляет инструмент для волочения?
15. Опишите конструкцию цепного волочильного стана.

3. ПРОКАТКА

Прокатка – один из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением. Она заключается в том, что при пропускании металла через вращающиеся валки изменяется площадь поперечного сечения и конфигурация исходной заготовки. Металл приобретает нужные размеры и форму. Прокаткой получают многие сложные изделия, рис. 35.

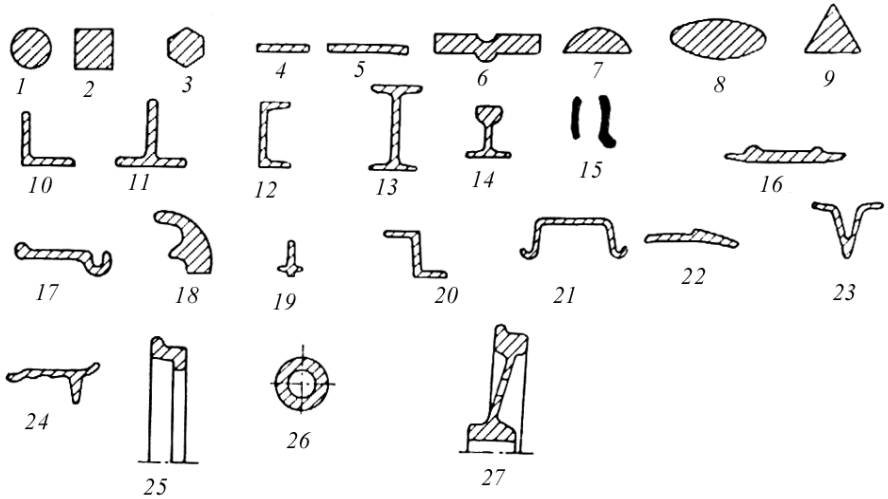

Рис. 35. Сортамент проката:
1 – круг; 2 – квадрат; 3 – шестигранник; 4 – полоса; 5 – лист; 6 – рессора; 7 – сегментная сталь; 8 – овальная сталь; 9 – сталь трехгранная; 10 – уголки равнобокие и неравнобокие; 11 – тавровая балка; 12 – швеллер; 13 – двутавровая балка; 14 – рельсы; 15 – накладки для рельсов; 16 – подкладки для рельсов; 17 – автообод; 18 – бортовое кольцо; 19 – оконорамный профиль; 20 – зетовый профиль; 21 – шпунт; 22 – лемех; 23 – шпора тракторная; 24 – башмак гусеницы трактора; 25 – бандаж колесный; 26 – труба; 27 – колесо

Некоторые из них используют в машиностроении без дополнительной обработки, другие – дополнительно подвергают волочению, ковке, штамповке или обрабатывают резанием.

Различают три основные технологические схемы прокатки: продольная, поперечная и винтовая.

При продольной прокатке исходная металлическая заготовка толщиной h_0 деформируется (обжимается, сдавливается) между двумя валками цилиндрической формы, вращающимися в разные стороны, рис. 36. Прокатываемая заготовка втягивается в зазор между валками под действием сил трения; при этом уменьшается ее высота до толщины h_1 и увеличивается длина и ширина. Деформация при продольной прокатке происходит больше в направлении длины, чем ширины заготовки. Продольная прокатка имеет наибольшее распространение: около 90% всего проката производится продольной прокаткой.

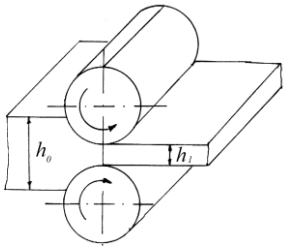

Рис. 36. Схема продольной прокатки

Основным рабочим инструментом являются валки. Они разделяются на гладкие и калиброванные. Первые служат для прокатки листов и лент, а вторые для сортового металла, рис. 37. Калиброванные валки на рабочей поверхности имеют кольцевые вырезы (ручьи) нужной формы. Просвет, образованный ручьями двух валков, расположенных один над другим, называют калибром, форму которого приобретает прокатываемый металл. Заготовка, проходя через ряд последовательно расположенных калибров, постепенно приобретает форму и размеры готового изделия, рис. 38. Прокатку в вырезных валках называют сортовой, а в гладких валках – листовой.

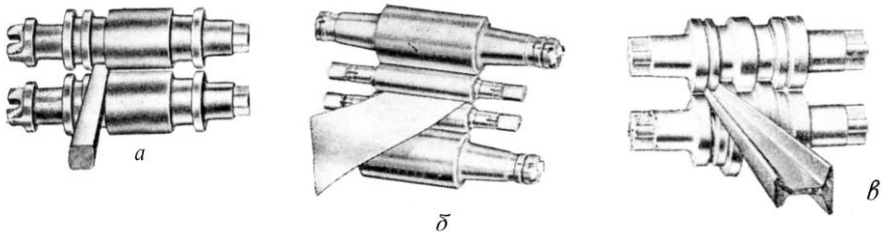

Рис. 37. Валки прокатных станов:
а – блюминга; б – листового стана; в – рельсобалочного стана

Продольной прокаткой получают изделия с разнообразной формой поперечного сечения: толстые листы и плиты, тонкие листы, фольгу, сортовой прокат (квадрат, круг, шестигранник и др.), фасонные профили (рельсы, балки двутавровые, швеллеры, уголки и др.), трубы, большое количество периодических профилей для машиностроения.

Применение периодических профилей, имеющих по длине переменное сечение, позволяет снизить вес деталей, элементов конструкций машин, производимых различными отраслями машиностроения. При этом обеспечивается значительная экономия металла и уменьшается стоимость машин.

Изделия, полученные периодической прокаткой, часто исключают необходимость штамповки и даже обработки резанием. Если деталь имеет весьма сложную конфигурацию, периодический прокат используется в качестве заготовки для штамповки или обработки резанием. В этих случаях применение периодического проката позволяет снизить расход металла на 15–25% и более, уменьшить трудозатраты, увеличить производительность штамповочного и металлорежущего оборудования.

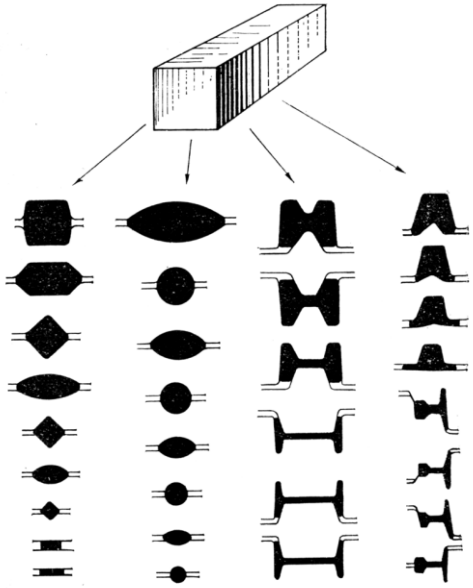

Рис. 38. Так валки сортопрокатного стана превращают квадратную заготовку в полосу, пруток, двутавровую балку и рельс

Под профилями переменного сечения будем в последующем подразумевать полосы с плавно изменяющимися поперечными сечениями (убывающими или возрастающими). У периодических профилей изменение сечения по длине полосы периодически повторяется (рис. 39), хотя в общем, эти профили являются частным случаем профилей переменного сечения.

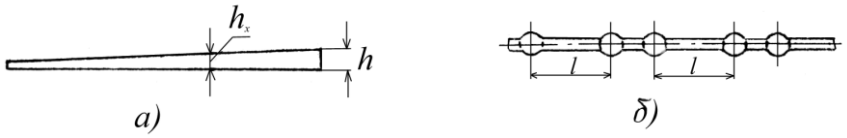

Рис. 39. Виды профилей: а – переменного сечения; б – периодического

Профили переменного сечения (например, клиновидные) получают продольной прокаткой в цилиндрических круглых валках как с изменяющимся межцентровым расстоянием A, (рис. 40, а), так и с постоянным (рис. 40, б).

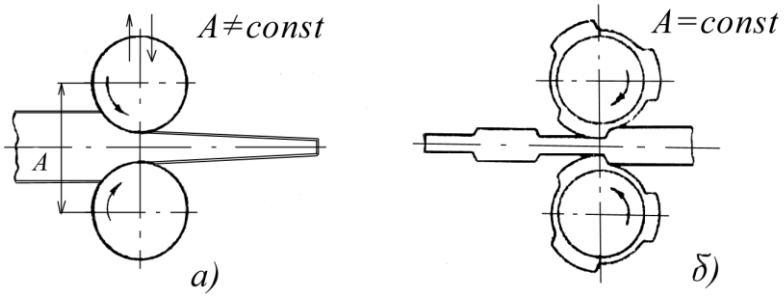

Рис. 40. Схема продольной прокатки профилей переменного сечения с изменяющимся (а) и постоянным (б) межцентровым расстоянием

В первом случае (рис. 40, а) непрерывное изменение расстояния между осями валков приводит к изменению зазора между валками, определяющего толщину прокатываемой полосы. Устанавливая различные соотношения между скоростями выхода полосы из валков и их взаимного перемещения, можно получать листы, полосы и профили практически с любым изменением толщины по длине изделия. При этом можно получать профили переменного сечения достаточно большой длины, в несколько раз превышающей длину окружности валков.

При втором варианте процесса прокатки профилей переменного сечения, в частности периодических (рис. 40, б), расстояние между осями валков *A* также остается постоянным, а радиусы, которые определяют внешний контур каждого из валков, периодически изменяются. Сравнительно простым периодическим профилем является арматурная сталь, широко применяемая в строительстве, рис. 41.

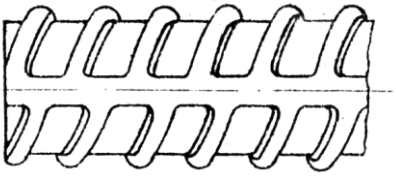

Рис. 41. Арматурный периодический профиль

Трубы с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности по принципу продольной прокатки получают на станах холодной прокатки труб. Станы имеют круглые калибры переменного диаметра 1, рис. 42.

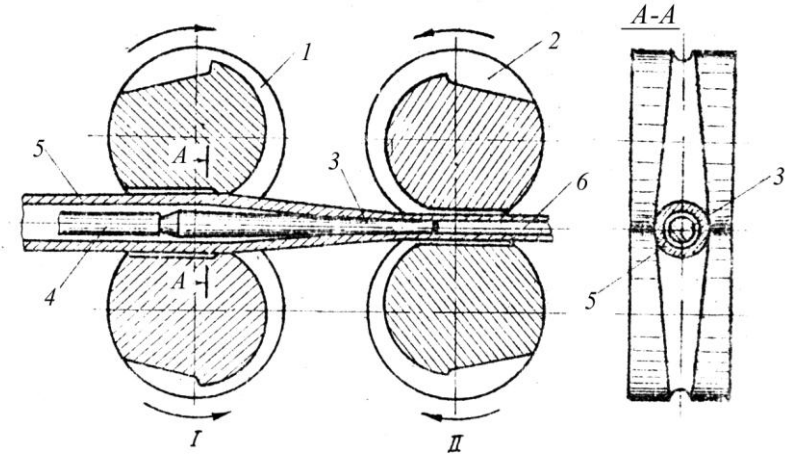

Рис. 42. Схема процесса холодной прокатки труб

Прокатку осуществляют двумя рабочими валками 2, которые вместе с рабочей клетью совершают возвратно-поступательное движение; при этом валки одновременно совершают и возвратно-вращательное движение. Труба 5 деформируется валками в калибрах на неподвижной конической оправке 3, закрепляемой на стержне 4.

Когда валки находятся в крайнем левом положении I, заготовка 5 подается вперед. В крайнем правом положении валков II происходит поворот трубы вокруг оси на 60–90°. Когда валки вместе с клетью займут вновь крайнее левое положение I, снова происходит подача заготовки, и цикл повторяется. За каждый цикл получают определенную длину готовой трубы 6. В этом и состоит периодичность их работы.

Для процесса холодной прокатки труб характерна весьма благоприятная с точки зрения использования пластичности металла схема напряженного состояния – всестороннее сжатие. Это позволяет достигать очень больших деформаций, не опасаясь разрушения металла трубы. Поэтому холодной прокатке подвергают главным образом трубы из нержавеющих и высоколегированных сталей, обладающих пониженной пластичностью, малопластичных цветных металлов и сплавов, а также трубы ответственного назначения.

При поперечной прокатке валки вращаются в одном направлении, а их оси и ось заготовки параллельны, рис. 43.

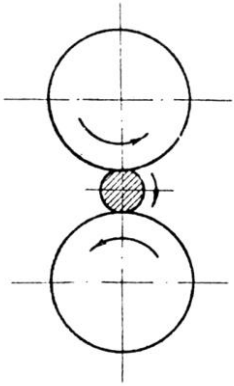

Рис. 43. Схема процесса поперечной прокатки

Валки вращаются в одном направлении, а заготовка, имеющая круглое сечение, в противоположном. При этом диаметр заготовки уменьшается, а длина увеличивается. Поперечную прокатку используют для изготовления зубчатых шестерен, накатки резьбы на болтах и т.д., рис. 44.

С этой целью нагретую заготовку 2 помещают между двумя вращающимися зубчатыми валками 1. Зубья валков внедряются в металл заготовки и формируют (накатывают) на ней зубья.

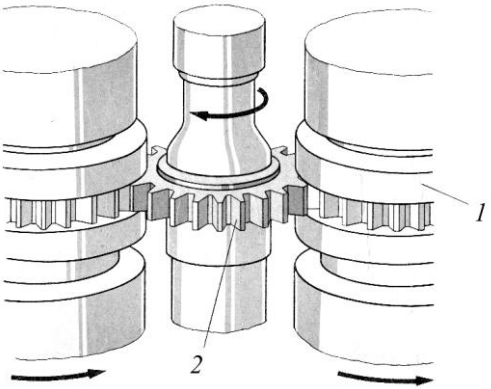

Рис. 44. Схема процесса прокатки зубчатых колес

Если оси валков расположить не параллельно, а перекрестить их под некоторым углом, то обрабатываемая заготовка будет получать не только вращательное, но и поступательное движение в направлении своей оси. В результате каждая точка заготовки перемещается по винтовой линии. Такую прокатку называют винтовой. Это основной процесс при производстве бесшовных труб, периодических профилей, шаров, роликов и т.п.

Бесшовные трубы делают весьма своеобразным способом. Его предложили в 1883 г. немецкие изобретатели отец и сыновья Маннесманы. Ими был сконструирован прокатный стан, в котором цилиндрическая заготовка пропускается между конусообразными валками бочкообразной формы, которые вращаются в одном направлении (рис. 45), а их оси расположены под некоторым углом друг к другу.

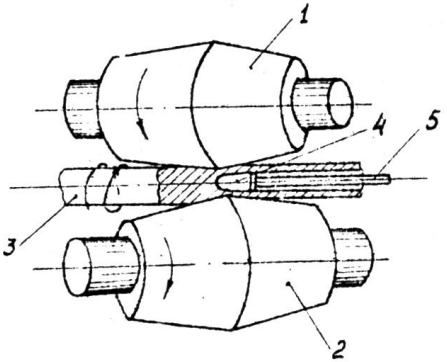

Рис. 45. Схема винтовой прокатки

Вследствие сил трения между валками 1, 2 и заготовкой 3, последняя начинает вращаться между валками, одновременно продвигаясь вперед. Таким образом, заготовка как бы ввинчивается в пространство между валками. Металл заготовки скручивается и вытягивается, а в осевой полости происходит его разрыхление – возникает полость. Если между валками установить стержень 5 с оправкой 4, то заготовка будет надеваться на него, как чулок. Полученную таким образом заготовку со сквозным отверстием называют гильзой.

Бесшовные трубы, полученные после раскатки гильз, имеют чрезвычайно широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Трубы идут на строительство трубопроводов, используются как водогазопроводные, нефтяные трубы применяются в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Огромное количество труб идет для создания теплоэнергетических установок, в химическую промышленность, для гражданского и промышленного строительства и, конечно, в различные отрасли машиностроения.

На основе схемы винтовой прокатки можно осуществлять производство самых разнообразных тел вращения: шаров, роликов, оребренных труб, винтов с круглыми резьбами и т.д. В качестве примера рассмотрим схему процесса прокатки шаров с использованием валков с ручьями, нарезанными на поверхности по винтовой линии, вращающимися в одну сторону, рис. 46. Нагретая до температур обработки заготовка круглого поперечного сечения подается во вращающиеся валки, на бочках которых видны винтовые ручьи. Передний конец заготовки захватывается ребордами калибра и начинает вращаться и одновременно продвигается по оси прокатки. Вследствие постепенного возрастания высоты реборды калибра вращающаяся заготовка обжимается и приобретает форму шара, соединенного перемычкой с остальной заготовкой. При дальнейшем продвижении в валках шар калибруется и полностью отделяется от заготовки. Для удержания заготовки на оси прокатки служат специальные проводки. За каждый оборот валков прокатывается один шар, и, таким образом, производительность стана определяется числом оборотов валков в единицу времени.

В отличие от схем, используемых для получения полости в трубной заготовке при производстве бесшовных труб (рис. 45), при прокатке изделий типа шаров вскрытие полости недопустимо (рис. 46). Устранение склонности металла к "разрыхлению" достигается применением в этих случаях более интенсивных обжатий заготовки.

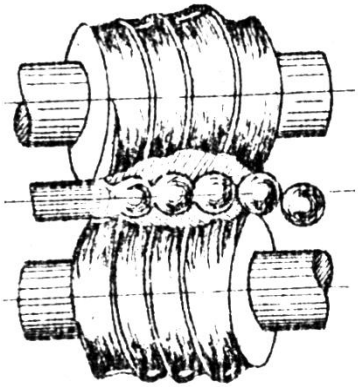

Рис. 46. Схема процесса прокатки шаров

Шары находят широкое применение для размола руды в горнодобывающей, цементной, металлургической и других отраслях промышленности. Они имеют диаметр от 40 до 125 мм и изготовляются в огромных количествах на многих машиностроительных и металлургических заводах. До сравнительно недавнего времени шары диаметром 40–60 мм изготовляли штамповкой из штучных (коротких) заготовок, получаемых из катаных прутков.

Шары более крупных размеров ковали на молотах или отливали, а затем проковывали. Все эти способы малопроизводительны, связаны с большим расходом металла и не обеспечивают получения правильной геометрической формы, что приводит к быстрому износу шаров при их эксплуатации. Применение горячей винтовой прокатки позволило существенно интенсифицировать процесс, получать шары правильной геометрической формы. Облегчилось проведение закалки шаров после их изготовления. Катаные шары имеют стойкость примерно в 2 раза выше, чем кованые, до 20% снижаются отходы металла при изготовлении шаров прокаткой.

Винтовая прокатка нашла применение и при изготовлении круглых профилей переменного сечения, а также периодических, которые в последующем используются как заготовка под штамповку или для обработки резанием.

Прокатка производится большей частью на трехвалковых станах с дисковыми или коническими (грибовидными) валками, расположенными под углом 120° один к другому (рис. 47). Валки устанавливают с

некоторым наклоном (3°–6°) по отношению к оси прокатки, в результате чего заготовка совершает поступательное винтовое движение через валки. Используется исходная заготовка круглого профиля. Ее передний конец закреплен в зажимном патроне, вместе с ним перемещается копировальная линейка, которая, воздействуя на орган управления перемещением рабочих валков в радиальном направлении, обеспечивает получение заданного изменения профиля по его длине.

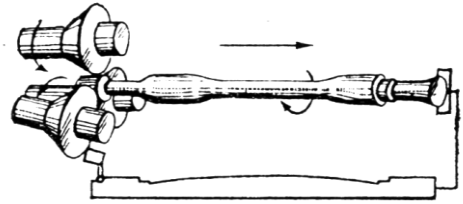

Рис. 47. Схема винтовой прокатки периодических профилей

Таким способом прокатывают сплошные и полые вагонные оси, полуоси для автомобилей, шпиндели текстильных веретен.

Детали с винтовым профилем (червячные валы, винты, роторы, сверла) изготавливают на станах винтовой прокатки с двумя или тремя валками. Этим способом получают и трубы с поперечными ребрами, которые находят широкое применение в теплообменной аппаратуре, рис. 48.

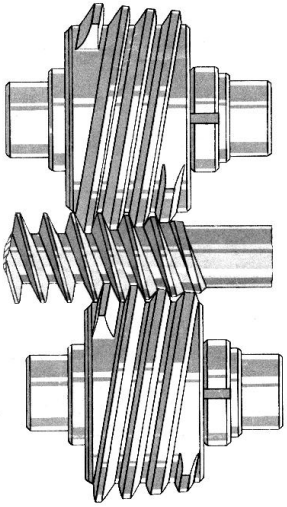

Рис. 48. Схема накатки поперечных ребер на трубе

Наряду с бесшовными трубами все большее применение в различных отраслях промышленности находят трубы сварные. Производят сварные трубы часто на трубных заводах, на которых выпускают и бесшовные трубы. Это не случайно: они изготовляются также обработкой металлов давлением, поскольку первая стадия их производства – формовка трубной заготовки (горячекатаных полос – штрипсов, холоднокатаной ленты или листов) – происходит за счет пластического изгиба. Формовка осуществляется различными способами, в том числе и в клетях станов, работающих по принципу продольной прокатки. В результате пластической деформации, например, полосы в валках формовочного стана, ей постепенно придается форма трубы (в поперечном сечении – разомкнутого кольца), как показано на рис. 49.

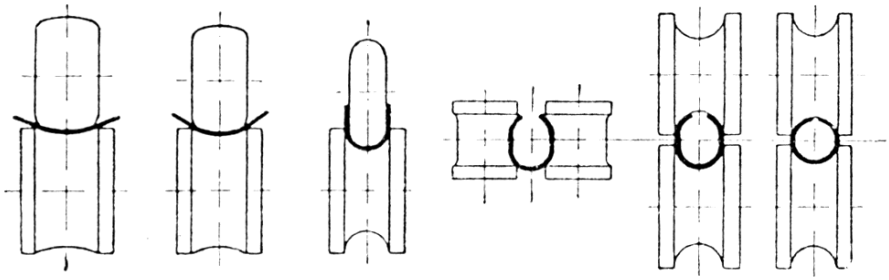

Рис. 49. Схема формовки полосы в трубную заготовку на многоклетьевом формовочном стане

Капиталовложения, необходимые для организации производства сварных труб, сравнительно невелики, а стоимость изготовления таких труб ниже, чем бесшовных. Благодаря использованию в качестве заготовки листового и ленточного проката стенка сварных труб может быть получена более тонкой, чем у бесшовных, ее отклонения по толщине от ГОСТов также меньше. Лишь формовкой из листа с последующей сваркой можно получить трубы очень большого диаметра (2020–2500 мм).

Сварные трубы широко применяются при строительстве магистральных трубопроводов для передачи на большие расстояния нефти, газа, пара, воды и т.п.

Сварные трубы используют в машиностроении, в сельском хозяйстве – в оросительных системах. Очень большое количестве сварных труб используется в гражданском строительстве, энергетике и т.д.

Машины, с помощью которых осуществляется прокатка металла, называют прокатными станами. Основой прокатного стана является рабочая клеть, включающая в себя станину, в которой размещены прокатные валки, рис. 50. Клети бывают двух-, трех-, четырех- и многовалковые. Стан может состоять из одной или нескольких рабочих клетей.

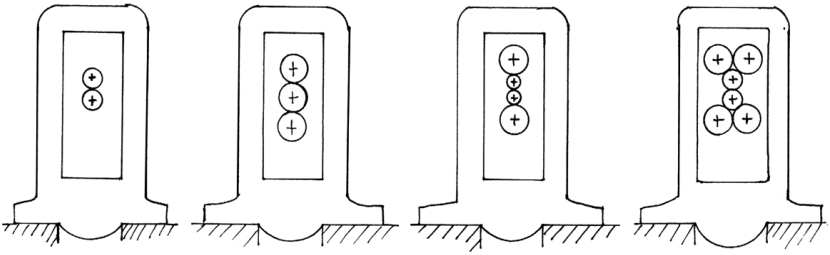

Рис. 50. Рабочие клети

Схема линии привода прокатного стана в наиболее общем виде изображена на рис. 51. В состав этой линии входят: 1 – рабочая клеть, 2 – шпиндели, 3 – шестеренная клеть, 4 – коренная муфта, 5 – редуктор, 6 – моторная муфта и 7 – электродвигатель.

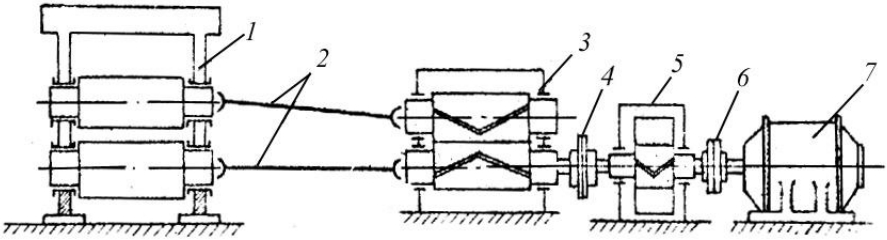

Рис. 51. Привод валков

Деформирующим инструментом стана служат валки (рис. 51), которые, опираясь на подшипники, прочно удерживаются в станинах рабочей клети. Клеть снабжена установочными механизмами, позволяющими изменять расстояние между валками.

Вращение валкам передается от шестеренной клети с помощью устройств, называемых шпинделями. Один конец шпинделя соединяется с концевой частью рабочего валка, другой – с шестеренным валком шестеренной клети.

Шестеренная клеть, основной частью которой являются шестеренные валки, имеющие шевронное зубчатое зацепление, предназначена

для распределения крутящего момента, передаваемого одним валом редуктора или электродвигателя, между двумя рабочими валками. Шестеренная клеть не служит редуктором, ибо числа оборотов шестеренных валков одинаковы. Этим обеспечивается равенство чисел оборотов валков рабочей клети.

Редуктор предназначен для изменения числа оборотов при передаче от электродвигателя к валкам. Обычно редуктор в главной линии прокатного стана служит для понижения числа оборотов валков и состоит из одной-трех пар зубчатых колес разного диаметра, расположенных в закрытом корпусе.

Прокатные станы очень разнообразны и определяются видом прокатываемой продукции. Станы для прокатки крупных слитков прямоугольной формы называют слябингами, квадратной формы – блюмингами. Основная их характеристика – диаметр валков. Для листовых станов основной характеристикой является длина бочки валка. Например, стан 2800 – это стан с длиной рабочей части валков 2800 мм и на нем катают листы примерно такой же ширины. На рельсобалочных станах прокатывают рельсы, двухтавровые балки, швеллеры. На проволочных станах получают круглый профиль – катанку. Многие кольцевые детали получают на кольцераскатных станах, а зубчатые колеса, звездочки, зубчатые профили на станах поперечной прокатки, шары на шаропрокатных, колеса на колесопрокатных, оси на осепрокатных станах.

Первые прокатные станы с ручным приводом предназначались только для прокатки мягких металлов (свинца, олова). Позднее применение водяного двигателя привело к созданию станов, способных прокатывать нагретые железные заготовки. Еще более расширились возможности прокатки, когда были сконструированы станы с приводом от паровой машины. В настоящее время в качестве привода применяют мощные электродвигатели.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите имя ученого, который первым опубликовал труды по прокатке.
2. В чем заключается прокатка?
3. Какие изделия можно получить прокаткой?

4. Перечислите основные технологические схемы прокатки.

5. В чем сущность продольной прокатки?

6. Что является рабочим инструментом при прокатке?

7. Опишите термины "ручей", "калибр".

8. Какую прокатку называют сортовой?

9. Как получить лист переменной толщины по длине?

10. Приведите схему продольной прокатки профилей периодического сечения.

11. Что представляет собой процесс холодной прокатки труб?

12. В чем сущность поперечной прокатки?

13. Дайте схему прокатки зубчатых колес.

14. Какое изобретение сделали отец и сыновья Маннесманы?

15. Каким образом при винтовой прокатке получают заготовку со сквозным отверстием?

16. Как при прокатке получают шары?

17. Приведите схему винтовой прокатки периодических профилей.

18. Как получают сварные трубы?

19. Что называют прокатным станом?

20. Опишите конструкцию рабочей клети прокатного стана.

21. Привод прокатного стана.

22. Как классифицируются прокатные станы по виду выпускаемой продукции?

4. ПРЕССОВАНИЕ

Прессование – это наиболее "молодой" и экзотический процесс обработки металлов давлением, получивший промышленное применение лишь в конце XVIII в., когда в значительной мере развились металлургия и машиностроение.

Прессованием (экструзией, выдавливанием) называется процесс истечения металла из замкнутого объема, заключенного в контейнере 1 между пресс-шайбой 2 и матрицей 3, через отверстие в матрице 4 под действием сжимающих сил *P* (рис. 52). Форма отверстия в матрице 3 определяет форму поперечного сечения готового пресс-изделия (профиля) 5.

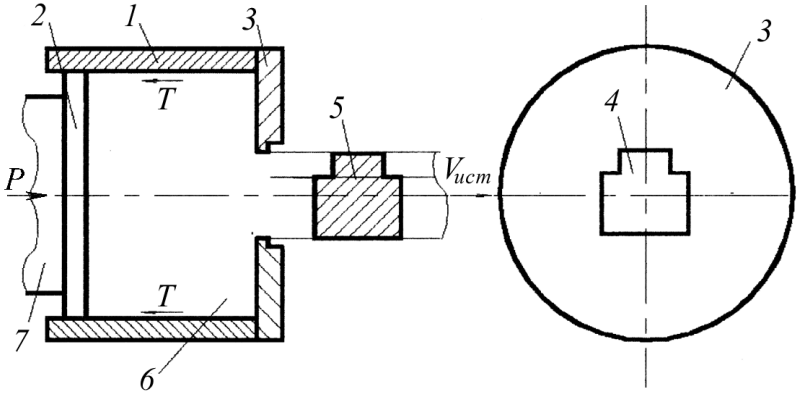

Рис. 52. Схема прямого прессования Т-образного профиля

Согласно схеме на рис. 52, деформируемая заготовка 6 заключена в толстостенную цилиндрическую втулку 1, называемую контейнером. Контейнер с одного конца прочно закрыт матрицей 3, имеющей отверстие (канал) 4. С противоположного конца в контейнер 1 вставлена пресс-шайба 2 в форме диска, передающая заготовке усилие *P* от пресс-штемпеля 7. Металл заготовки под действием усилия *P*, не имея другого выхода, кроме канала в матрице, выдавливается из последнего в виде длинномерного профиля с сечением, повторяющим сечение канала матрицы. Поскольку форма канала матрицы может быть весьма сложной, прессованием наряду с простыми профилями (круглого, квадратного, прямоугольного и др. сечений) можно получить очень сложные конструкционные пресс-изделия, изображенные на рис. 53.

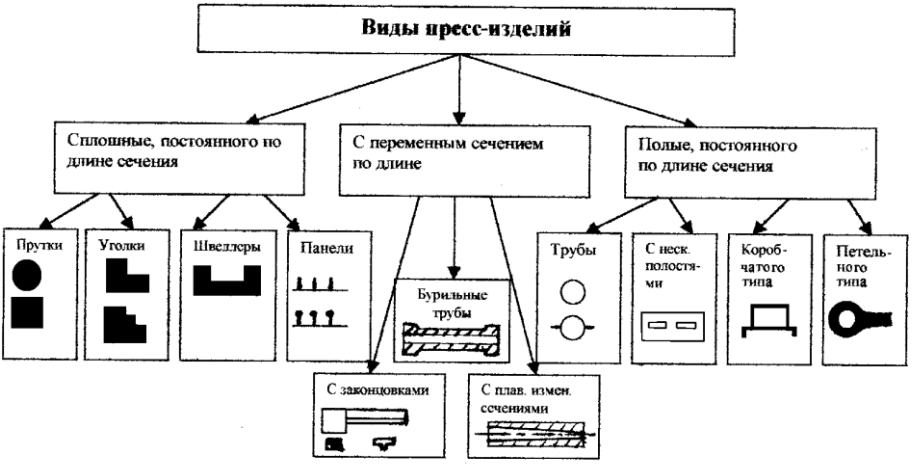

Рис. 53. Типовые представители пресс-изделий

Прогресс современной техники (появление новых летательных аппаратов, автомобилей, железнодорожных вагонов, поливальной передвижной установки и т.п.) немыслим без металлопродукции (рис. 53), которую получают прессованием.

Наиболее распространено в мировой практике прессование с прямым истечением (рис. 52). Металл заготовки 6 выдавливается из контейнера 1 так, что пресс-шайба 2 перемещается пресс-штемпелем 7 относительно стенок контейнера. Относительно контейнера перемещается и заготовка, и на поверхности заготовки появляются реактивные силы трения *T*, затрудняющие ее перемещение. В этом методе направление течения металла совпадает с направлением движения пресс-штемпеля. Прямым методом можно получать не только сплошные, но и полые профили, профили с переменным сечением по длине (рис. 53).

При прессовании полых изделий внутри заготовки 6 располагают иглу 8, передний конец которой проходит с некоторым зазором через канал 4 в матрице 3 (рис. 54). Металл заготовки выдавливается через кольцевой зазор в виде полого профиля 5. Для того чтобы изготовить другой полый профиль, например, квадратную трубу с круглым отверстием, достаточно сменить только матрицу и иглу.

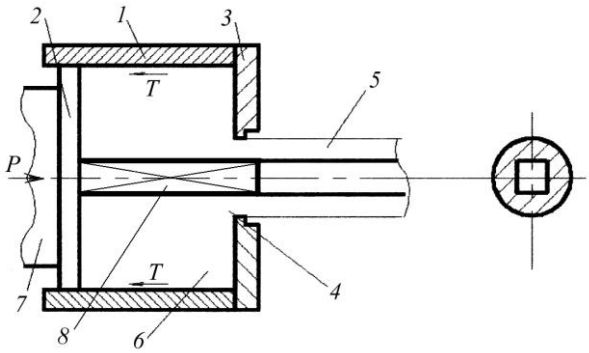

Рис. 54. Схема прямого прессования круглой трубы с квадратным отверстием

При прессовании полых изделий методом прямого прессования заготовка изготавливается полой, либо перед прессованием просверливается, либо прошивается иглой 8, которая может иметь самостоятельное перемещение от гидропривода пресса.

В современной аэрокосмической технике используется множество профилей, которые имеют нагруженную консольную часть. Наиболее экономичный способ изготовления таких профилей – получение наибольшего поперечного сечения в основании и наименьшего у конца профиля. Такие профили называют профилями с законцовками. Их можно получить, если останавливать процесс прессования и заменять матрицу. При этом осуществляют переход от меньшего поперечного сечения к большему поперечному сечению. Для этой цели используют разъемные матрицы (рис. 55).

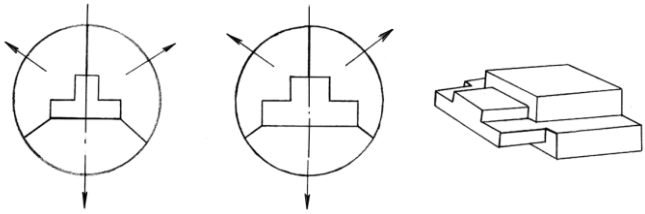

Рис. 55. Конструкции разъемных матриц для прессования профилей с законцовками

Для бурильных установок, применяющихся в геологической разведке, потребовалось создание труб периодического сечения из алюминиевых сплавов. Эти трубы делают с внешними и внутренними поперечными утолщениями. Труба с внутренними поперечными утолще-

ниями может быть получена при прессовании с применением управляемой ступенчатой иглы. Рабочая часть иглы для изготовления таких труб имеет различные диаметры, соответствующие внутренним диаметрам трубы в основном сечении и утолщениях. Изменяя в нужный момент положение иглы относительно канала матрицы (рис. 56), получают соответствующие размеры стенок трубы t_1 и t_2.

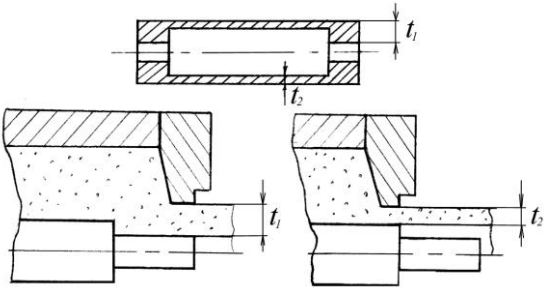

Рис. 56. Схема прямого прессования трубы с внутренними поперечными утолщениями

Труба с наружными поперечными утолщениями может быть получена путем применения специальной иглы. Игла по длине имеет периодически изменяющийся диаметр (рис. 57), перемещается и фиксируется в определенном положении по заданной программе. Устанавливая первоначально в матрице иглу малого диаметра, получают наружное утолщение. Так как передняя часть иглы имеет больший диаметр, то выходящая труба при прохождении через нее раздается, а внутренний диаметр трубы становится соответствующим большому диаметру иглы. Матрица имеет два рабочих канала «а» и «б». Канал «а» формирует наружный диаметр основного сечения трубы, а канал «б» – утолщения.

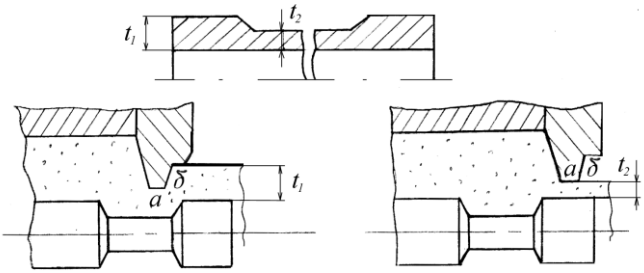

Рис. 57. Схема прямого прессования трубы с наружными поперечными утолщениями

Профили и трубы переменного по длине сечения нашли широкое применение в связи с развитием машиностроения. Получение таких профилей прессованием ведется двумя путями. Один путь – применение конических игл, а другой – применение матрицы с подвижными частями. Первый путь сходен с обычным прессованием труб, только вместо цилиндрической иглы применяют коническую иглу, образующую вместе с матрицей сечение необходимого профиля. На рис. 58 показана схема прессования трубы с постоянным наружным диаметром и переменным внутренним диаметром и профиля треугольной формы с переменным сечением по длине. Достоинством последней схемы является получение одновременно четырех профилей.

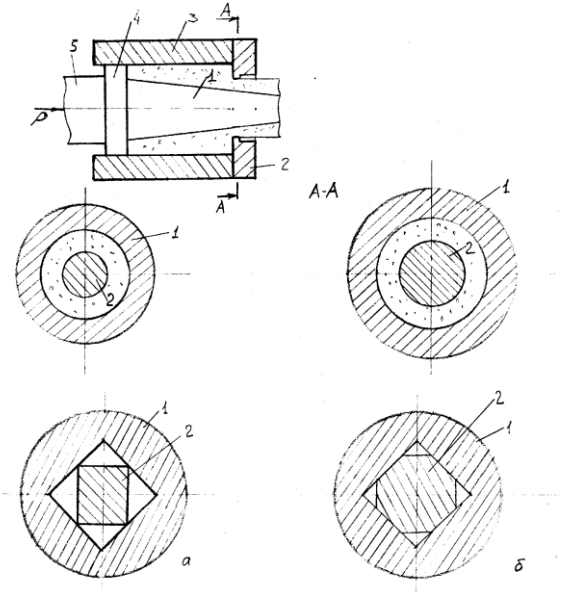

Рис. 58. Схема прессования профилей переменного сечения с помощью конических игл: а) положение инструмента в начале прессования; б) положение инструмента в конце прессования; 1 – коническая игла, 2 – матрица, 3 – контейнер, 4 – пресс-шайба, 5 – пресс-штемпель

Схема изготовления профиля плавно изменяющегося поперечного сечения с помощью матрицы с подвижными частями показана на рис. 59. В процессе прессования подвижный элемент 1 матрицы 2 перемещается в радиальном направлении. Перемещение обеспечивается копиром 3, жестко связанным с пресс-штемпелем 4.

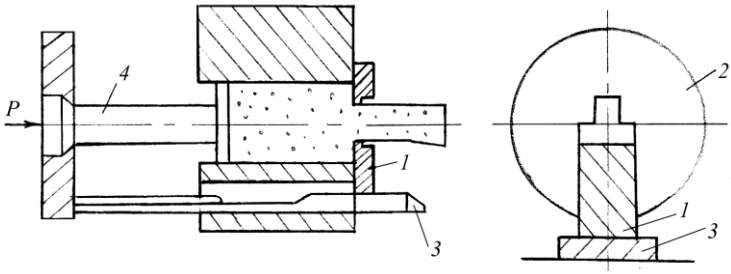

Рис. 59. Схема прессования Т-образного профиля с переменной толщиной полки

Прессование с обратным истечением было предложено в 1921 году в Англии инженером и изобретателем Р. Джендерсом. Этот метод устраняет трение металла заготовки о стенки контейнера и снижает усилие прессования Р на 30–40%.

При прессовании с обратным истечением металл заготовки 1 движется к матрице 2, а наоборот, матрица 2, прикрепленная к концу полого пресс-штемпеля 3 надвигается на заготовку 1 (рис. 60). В этом случае металл, вытекая через канал в матрице, не скользит по стенкам контейнера. Матрица одновременно играет роль пресс-шайбы. Контейнер 4 закрепляется с одного конца заглушкой 5. Разновидностью этого метода является процесс, когда контейнер вместе с заготовкой движется на неподвижный полый пресс-штемпель.

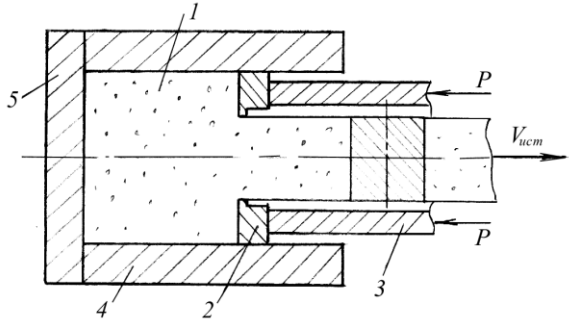

Рис. 60. Схема обратного прессования квадратного прутка

Силы трения, а, следовательно, и усилие прессования можно существенно уменьшить, применяя смазку внутренней поверхности контейнера и матрицы. Однако еще более эффективно применение гидропрессования (гидроэкструзии).

Гидропрессование – это прессование жидкостью высокого давления, причем для создания давления на деформируемый металл может применяться как одна жидкость, подаваемая в контейнер под давлением 10–30 тыс. кг/см^2, так и пресс-штемпель, воздействующий и на деформируемую заготовку и на жидкость, в которой она находится. В последнем случае процесс называют гидромеханическим прессованием. Схемы таких процессов представлены на рис. 61. Наличие смазки (рабочей жидкости), разделяющей поверхности слитка и контейнера, и приводит к резкому снижению сил трения.

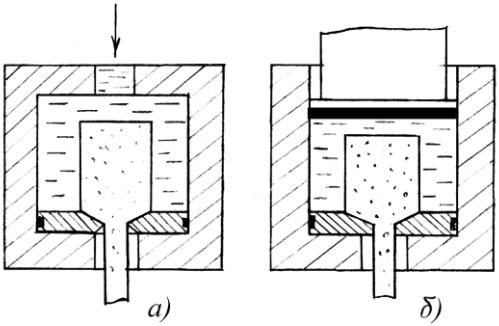

Рис. 61. Схемы гидропрессования металлов

Силы трения можно заставить помогать прессованию металлов следующим образом.

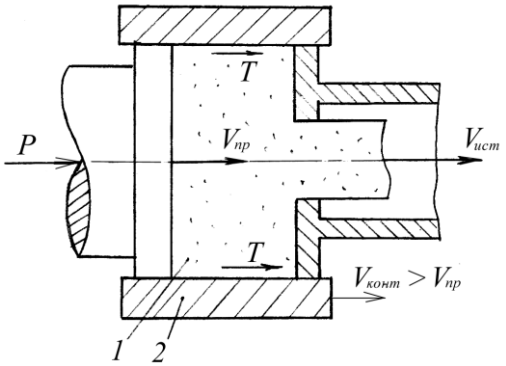

Рис. 62. Схема прессования с активными силами трения

Контейнер 1 имеет большую скорость перемещения, чем заготовка 2 (рис. 62). На поверхности заготовки создаются силы трения *T*, совпадающие по направлению с силой *P*. В результате, контейнер будет увлекать за собой поверхностные слои заготовки. Такие силы трения

называют активными, осуществляющими силовое воздействие. Таким образом, трение способствует выравниванию деформации по объему заготовки, уменьшается расход энергии, повышается качество получаемых профилей.

Для производства различных пустотелых профилей и труб освоено прессование со сваркой. Этот способ впервые предложен в России в 1898 году. Особенность способа состоит в том, что короткая игла крепится к корпусу самой матрицы на рассекателе (рис. 63).

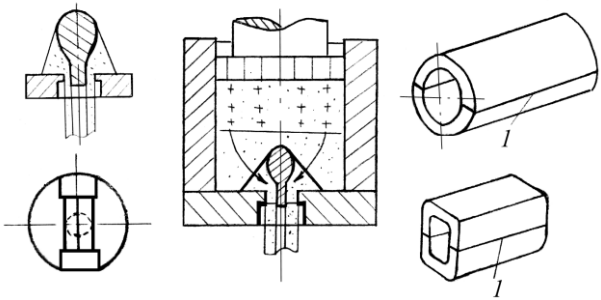

Рис. 63. Схема прессования пустотелых профилей со сваркой

В процессе прессования металл заготовки сплошного поперечного сечения на входе в канал матрицы разделяется гребнем рассекателя на два потока. Эти потоки, обтекая рассекатель, под большим давлением свариваются на выходе из канала матрицы.

Из описания, приведенного выше, следует, что процесс прессования обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с сопоставимым по изготавливаемому сортаменту изделий процессом прокатки:

- профили, полученные прессованием, имеют, как правило, более точные размеры и высокий класс чистоты поверхности;
- прессованием можно изготовить профили сложной формы (рис. 53), что прокаткой достичь не удается;
- переход от изготовления одного профиля к другому осуществляется за счет смены матрицы, на что уходит сравнительно немного времени;
- процесс прессования позволяет изготовить профили из малопластичных металлов.

Прессование осуществляют на прессах с гидравлическим приводом. Принцип действия гидропресса основан на законе Паскаля. Согласно этому закону, в любых сообщающихся сосудах, заполненных жидкостью, давление под действием внешних сил во всех частях одинаково.

Рассмотрим гидравлическую систему, состоящую из двух сообщающихся цилиндров 1 и 2: один из них большего диаметра, другой значительно меньшего диаметра (рис. 64). Создать давление в небольшом цилиндре не требует больших усилий P_1. В большом цилиндре создается такое же давление P. Для сообщающихся сосудов $\frac{P_1}{f_1} = \frac{P_2}{f_2} = P$, откуда усилие на плунжере 4 $P_2 = P_1 \frac{f_2}{f_1}$, где f_1 и f_2 – площади поперечных сечений плунжеров 3 и 4.

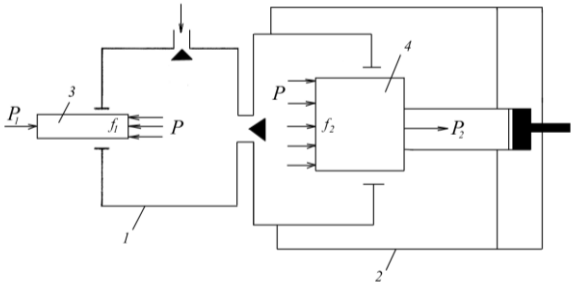

Рис. 64. Схема прессования на прессах с гидравлическим приводом

Усилие, развиваемое гидропрессом, может быть очень большим, так как увеличивая площадь плунжера 4 f_2, а также рабочее давление P можно получить усилие пресса практически любой величины. В настоящее время давление рабочей жидкости создают с помощью насосов высокого давления.

Головным оборудованием для прессования труб и профилей является горизонтальный гидравлический пресс. Он представляет собой комплекс узлов и силовых элементов, предназначенных осуществить рабочий цикл прессования слитков и вспомогательные операции по приведению прессов в исходное рабочее состояние.

Основными элементами гидравлического пресса прямого действия при прессовании профилей являются горизонтально расположенные главный рабочий цилиндр 1 и главный рабочий плунжер 2 (рис. 65). Их назначение – создать необходимое давление прессования. Давление на плунжере обычно создается при помощи жидкости, подаваемой насосом высокого давления, и аккумуляторов. В качестве жидкости применяют воду, эмульсии или масло. Жидкость находится под давлением 200–500 атм.

На торце главного плунжера 2 через подвижную прессующую траверсу 9 закреплен пресс-штемпель 3, который осуществляет выдавливание слитка 4 из контейнера 5 через матрицу 6 усилием, развиваемым главным плунжером 2 пресса. Матрица 6, закрывающая выход из контейнера 5, посредством матрицедержателя 15 установлена в передней неподвижной траверсе 7, закрепленной на станине пресса. Для создания давления прессования в контейнере 5 переднюю траверсу 7 связывают колоннами 8 с главным цилиндром 1. Колонны 8 воспринимают полное усилие прессования и в совокупности с передней траверсой 7 и главным цилиндром 1 создают жесткую замкнутую раму (станину), являющуюся основанием пресса.

Подвижная траверса 9 совместно с главным плунжером 2 и пресс-штемпелем 3 скользит по направляющим вдоль станины пресса и совершает обратно-поступательное движение. Обратный ход, т.е. возврат в исходное положение главного плунжера вместе с пресс-штемпелем, осуществляется благодаря цилиндрам обратного хода 10, установленным в неподвижной передней траверсе 7.

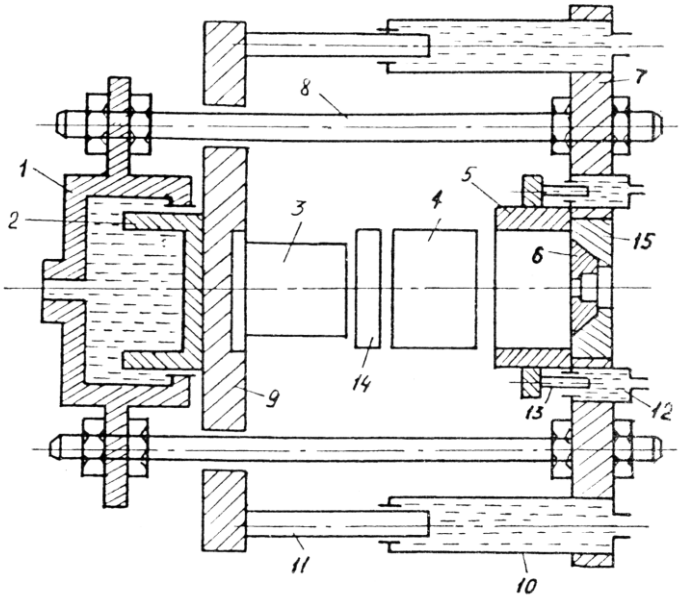

Рис. 65. Конструкция горизонтального гидравлического пресса прямого действия для прессования профилей

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение процесса прессования.
2. Перечислите инструмент, используемый при прессовании.
3. Какие пресс-изделия получают прессованием?
4. Приведите схему прессования труб прямым методом.
5. Как выглядит заготовка для прессования профилей, труб?
6. Каким образом прессуют профили с законцовками?
7. Способ получения трубы с внутренними поперечными утолщениями.
8. Схема прессования бурильной трубы.
9. Прессование профилей и труб плавно изменяющегося поперечного сечения.
10. В каком методе устраняется трение металла заготовки о стенки контейнера?
11. Схема прессования с активными силами трения.
12. Как получают прессованием пустотелые профили?
13. Достоинства прессования перед прокаткой.
14. Принцип действия гидропресса.

5. ШТАМПОВКА

Штамповка – это процесс обработки металлов давлением, связанный с изготовлением изделий при помощи штампов. Производительность штамповки в десятки раз больше, чем ковки, кроме того, при штамповке достигается большая, чем при ковке, точность размеров и малая шероховатость поверхности. Так, нередко после штамповки изделия не требуют механической обработки. Однако штамповка выгодна лишь при массовом и крупносерийном производстве, когда окупаются затраты на изготовление сложных форм (штампов). Штамповка бывает горячей и холодной, объемной и листовой.

Горячая объемная штамповка в отличие от ковки, которая обеспечивает получение размеров вдоль одной или двух осей, обеспечивает заданные размеры по трем осям. Операции горячей объемной штамповки выполняют, используя специализированный инструмент – штампы. Штамп имеет две и большее число частей, при сопряжении которых образуется объемная полость по форме штампуемой поковки. Эту полость штампа называют ручьем. Заготовка простой формы, нагретая до заданной температуры, помещается в ручей. При смыкании верхнего и нижнего штампов 1 и 2, металл деформируясь, заполняет полости, воспроизводит их форму и превращается в поковку 3, рис. 66. Течение металла при штамповке принудительно ограничивается поверхностями полости штампа.

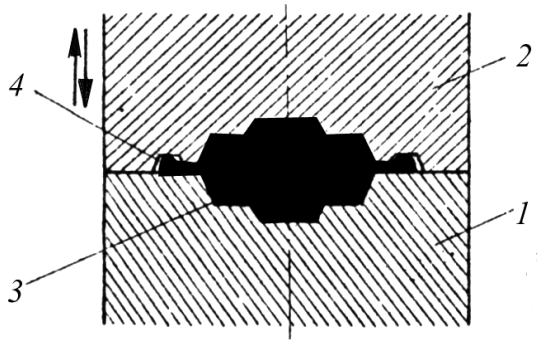

Рис. 66. Схема процесса горячей объемной штамповки:
1 – нижний штамп, 2 – верхний штамп, 3 – заготовка, 4 – облой

Горячая объемная штамповка является производительным и широко распространенным процессом в машиностроении. Весьма широко горячую объемную штамповку применяют в автомобилестроении, ваго-

ностроении и тепловозостроении, в производстве дорожных машин, сельскохозяйственных, швейных машин, станков, летательных аппаратов и т.п.

Различают объемную штамповку в открытых и закрытых штампах. На рис. 66 показана схема штамповки в открытых штампах. При штамповке по месту разъема штампов вокруг детали образуется облой (заусенец) 4. Наличие облоя обеспечивает хорошее заполнение металлом полостей штампа. Сам облой начинает образовываться раньше, чем заполняется гравюра штампа. В последующем, при постепенном сближении штампов металл, вытекающий в облой, сильно утоняется в результате деформации и поэтому быстро охлаждается. Сопротивление истечению металла в разъем штампов резко возрастает, и металл, находящийся в полости штампа, вынужден заполнять все мелкие элементы гравюры. Облой по окончании штамповки удаляется с помощью специальных обрезных штампов. Из-за облоя объем заготовки необходимо увеличивать на 10–30%. Поковки типа тел вращения можно изготовлять методом безоблойной штамповки, при которой потери металла существенно сокращаются. Недостаток безоблойной штамповки заключается в необходимости весьма точной резки исходной заготовки с таким расчетом, чтобы после резки объем (масса) ее был в точности равен объему (массе) готовой поковки. Схема процесса безоблойной штамповки изображена на рис. 67.

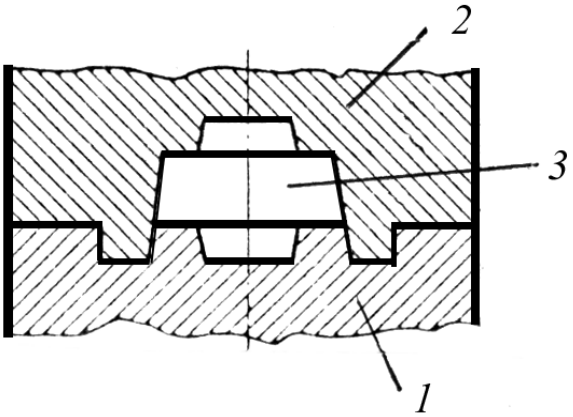

Рис. 67. Схема безоблойной штамповки:
1 – нижний штамп, 2 – верхний штамп, 3 – заготовка

Штамповка может производиться как в одном, так и в нескольких ручьях в случае, если поковка существенно отличается по форме и размерам от заготовки. При многоручьевой штамповке форма заготовки изменяется постепенно при переходе от одного ручья к другому. Использование заготовок, полученных периодической прокаткой, близких по форме к готовым поковкам, исключает необходимость многоручьевой штамповки, сокращает трудозатраты и способствует повышению производительности. В чистовом ручье поковке в любом случае придаются окончательная форма и размеры.

На рис. 68 приведена конструкция многоручьевого молотового штампа для изготовления поковки "шатун" 1. Крепление штампа к молоту производится с помощью хвостовика в виде ласточкина хвоста 2 и клиньев. В каждом из штампов выполнены углубления (ручьи) 3–7, соответствующие форме поковки. Для облегчения удаления поковки из штампа стенки предварительного 3 и окончательного 7 ручьев делают с уклоном. Чтобы перераспределить металл цилиндрической заготовки 8 в соответствии с формой поковки 1 применяют заготовительные ручьи: протяжной 5, подкатной 6. Протяжка увеличивает длину отдельных участков исходной заготовки 9 за счет уменьшения ее поперечного сечения. Подкатка обеспечивает набор металла в одних местах и уменьшения в других без изменения длины заготовки 10. Обработку ведут в этом ручье с кантовкой заготовки на 90° после каждого удара верхнего штампа. В первых двух ручьях цилиндрическая заготовка 8 превращается в фасонную заготовку 10 с двумя утолщениями на концах. В гибочном ручье 4 заготовка 11 принимает изогнутую форму, а в предварительном 3 и штамповочном ручье 3 приближается к готовой поковке 12. Облойная канавка выполнена только вокруг ручья 7, в котором происходит окончательное оформление поковки 13. Далее в обрезном штампе удаляют облой и получают поковку 1. Для размещения конца заготовки, который кузнец удерживает клещами, в штампе сделаны выемки 14.

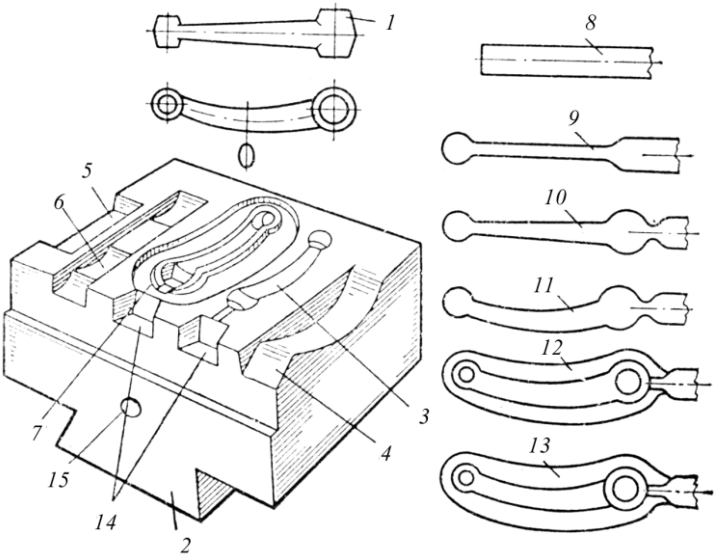

Рис. 68. Молотовой штамп для изготовления детали "шатун":
1 – деталь "шатун", 2 – ласточкин хвост, 3 – предварительный ручей,
4 – гибочный ручей, 5 – протяжной ручей, 6 – подкатной ручей,
7 – окончательный ручей, 8 – заготовка, 9-13 – переходы штамповки,
14 – выемки под клещи, 15 – отверстия для транспортировки штампов

Холодная листовая штамповка заключается в получении деталей из листового материала в штампах путем придания ему определенной формы. Обычно штамповку проводят в холодном состоянии, поэтому ее и называют холодной листовой штамповкой.

Штампованные детали из металлического листа буквально наводнили окружающий нас предметный мир: ложки, кастрюли и бидоны, детали кухонной плиты и корпус радиатора отопления. Из листового материала изготовляется около 60% автомобильных и 40% тракторных деталей самых разнообразных форм и размеров: кузов автомобиля, рама, крылья, диски колес и т.п. В транспортном, сельскохозяйственном машиностроении, авиационной, радио- и электротехнической промышленности, при производстве товаров народного потребления все шире применяются детали, полученные холодной листовой штамповкой, рис. 69.

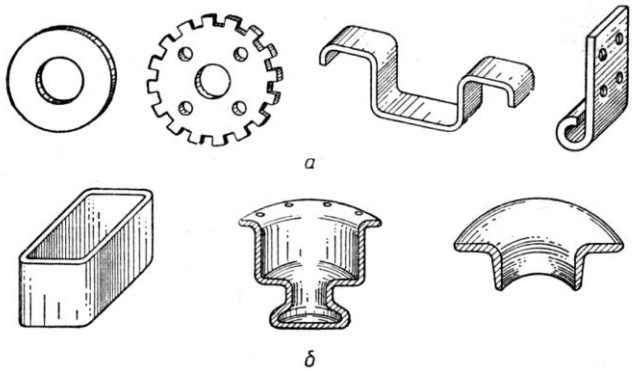

Рис. 69. Детали, отштампованные из листового металла:
а – плоские детали; б – объемные детали

Холодной листовой штамповкой изготовляют детали из листового, ленточного и полосового проката, полученного холодной прокаткой, при этом не происходит существенного изменения толщины заготовки. Поскольку листовая штамповка в преобладающем большинстве случаев выполняется в холодном состоянии, то обеспечивается высокая точность размеров и форм деталей, хорошее качество поверхности. Полученные холодной штамповкой детали, как правило, применяются при сборке машин без дополнительной обработки, а сами машины для холодной штамповки имеют очень высокую производительность.

Многообразие изделий, получаемых холодной штамповкой, обусловливает и значительное число различных штамповочных операций. Наиболее распространены операции разделительные и формоизменяющие.

Разделительные предназначены для получения заготовки из листа или ленты или для отделения одной части заготовки от другой. Формоизменяющие обеспечивают получение из заготовки пространственной детали необходимой формы и размеров.

К разделительным операциям относят отрезку, вырубку и пробивку. С их помощью из листа или ленты получают исходную заготовку, а также отделяют одну часть заготовки от другой. Отрезка – это операция, используемая для разрезки листов на полосы. Вырубка – это отделение части заготовки по замкнутому контуру. Отделяемая часть является изделием. При вырубке можно получить любой внешний контур

заготовки. Пробивка – это отделение части заготовки по замкнутому контуру. Отделяемая часть является отходом. Вырубка и пробивка производится в штампах с помощью пуансона и матрицы. На рис. 70 показан технологический процесс изготовления самой массовой детали в машиностроении – шайбы из листа с помощью операций отрезки, пробивки и вырубки.

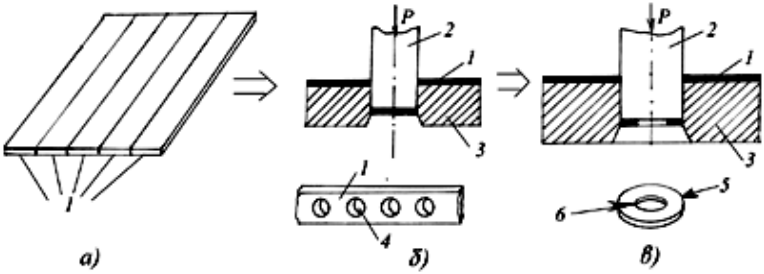

Рис. 70. Схема процесса изготовления шайбы:
а) отрезка; б) пробивка отверстия; в) вырубка шайбы; 1 – полоса,
2 – пуансон, 3 – матрица, 4 – отверстие, 5 – пробивка, 6 – вырубка

К формоизменяющим операциям относятся гибка, вытяжка, обжим, раздача, отбортовка, формовка, чеканка. С их помощью из плоской листовой заготовки получают объемные детали.

Гибка – это изменение кривизны срединной поверхности заготовки 1 без существенного изменения ее линейных размеров. С помощью пуансона 3 и матрицы 4 гибкой изготавливают гнутые детали 2, рис. 71.

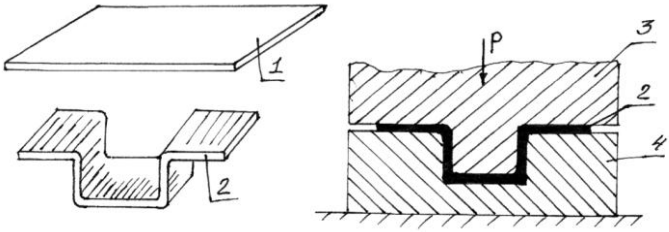

Рис. 71. Схема операции гибки

Вытяжка – это процесс превращения плоской металлической заготовки в полое изделие, рис. 72. Плоская заготовка 1 в виде круга, вырубленная с помощью одной из разделительных операций из листа или ленты, превращается в полое тело (колпачок 2), стенки которого имеют

толщину, равную толщине листовой заготовки. Операция выполняется в штампе, который состоит из перемещающегося пуансона 3 и неподвижной матрицы 4. Кольцевой зазор, образованный пуансоном и матрицей, принимают при этом чуть больше толщины листовой заготовки.

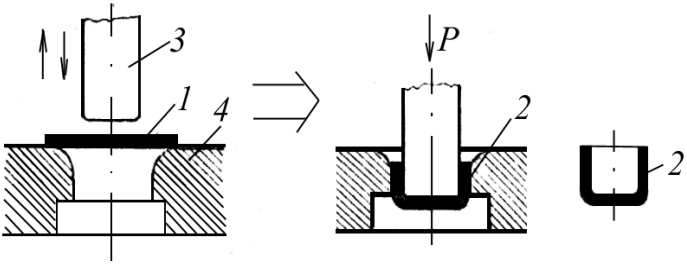

Рис. 72. Схема операции вытяжки при листовой штамповке

Поскольку пластическая деформация производится в холодном состоянии, металл упрочняется, его пластичность снижается, а сопротивление деформации растет. Поэтому последующее уменьшение диаметра колпачка вытяжкой затрудняется. Для устранения упрочнения полуфабрикат подвергают отжигу – нагреву, выдержке при определенной температуре и охлаждению. Последствия упрочнения устраняются, и после удаления окалины, образовавшейся при нагреве, изделие снова подвергается холодной пластической деформации.

При обжиме уменьшаются размеры поперечного сечения краевой части полой заготовки 1 путем заталкивания ее в сужающуюся рабочую полость матрицы 2, рис. 73, а. При раздаче, наоборот, поперечные размеры краевой части полой заготовки 1 увеличиваются путем внедрения в нее пуансона 3 с постепенно увеличивающимися поперечными размерами, рис. 73, б.

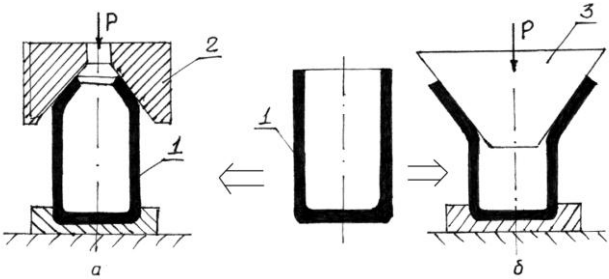

Рис. 73. Схемы операций обжима и раздачи

Отбортовка – это образование борта в плоской или полой заготовке 1 с предварительно пробитым отверстием. Пуансон 2 отгибает краевые

участки по периметру заготовки или отверстия, расположенной на матрице 3, образуя борт или фланец, рис. 74. Диаметр отверстия в заготовке 1 при этом увеличивается.

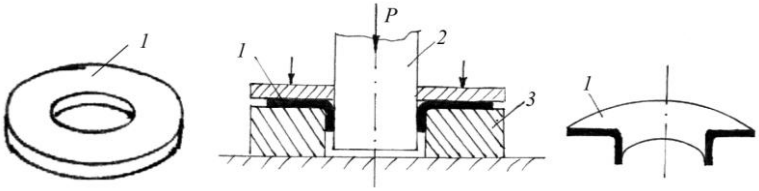

Рис. 74. Схема операции отбортовки

При формовке на поверхности листовой заготовки получают местные углубления (выпуклости). При чеканке плоская заготовка зажимается между двумя штампами, на которых выгравирован нужный рельеф. Металл заготовки под большим давлением заполняет все углубления на поверхности штампов – рельеф штампов переносится на деталь. Так изготавливают монеты, значки, медали, доводят до точного размера фасонные штамповки.

Большинство рассмотренных операций холодной листовой штамповки выполняют с применением смазки, что приводит к существенному снижению силы деформации *P*.

Благодаря усилиям многочисленной армии инженеров и ученых появляются все новые способы реализации процессов объемной и листовой штамповки: штамповка из жидкого металла, штамповка взрывом, жидкостью, резиной, полиуретаном, электроимпульсная штамповка, электрогидравлическая и т.п.

При штамповке эластичным инструментом одну из рабочих частей штампа пуансон или матрицу заменяют эластичным инструментом из резины или полиуретана, рис. 75, а.

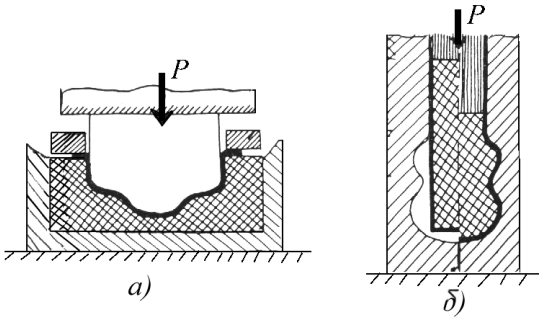

Рис. 75. Схема штамповки эластичным инструментом

Штамповка резиной и полиуретаном включает почти все операции листовой штамповки – пробивку, вырубку, гибку, обжим. Однако наиболее интересный результат достигается при штамповке изделий, которые традиционной штамповкой получить невозможно, либо очень сложно (рис. 75, б).

При штамповке взрывом в качестве источника энергии применяют взрывчатые вещества: тротил, гексоген, аммонит – те самые, что раньше служили только для разрушения. Матрицу с заготовкой располагают в бассейне, заполненном водой, рис. 76.

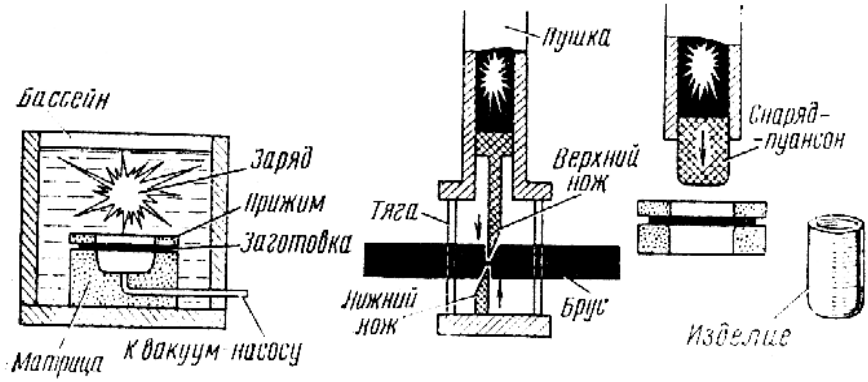

Рис. 76. Схема штамповки взрывом

При взрыве заряда воздушный газовый шар под высоким давлением возбуждает в воде ударную волну, давление которой через слой воды передается на поверхность заготовки. В результате взрыва ударная волна в жидкости деформирует заготовку, придавая ей нужную форму. Используют также энергию взрыва сжатых газов (как в двигателях внутреннего сгорания) и электрического разряда.

Взрывной штамповкой изготавливают многие самолетные и ракетные детали: обшивка сверхзвуковых самолетов и ракет, пустотелых лопаток, ступицы вентилятора и др.

Магнитно-импульсная штамповка основана на использовании сил электромеханического взаимодействия между вихревыми токами, наведенными в стенке обрабатываемой детали при пересечении их силовыми линиями магнитного поля и самим импульсным полем, в результате чего возникают импульсные механические силы, деформирующие заготовку (рис. 77).

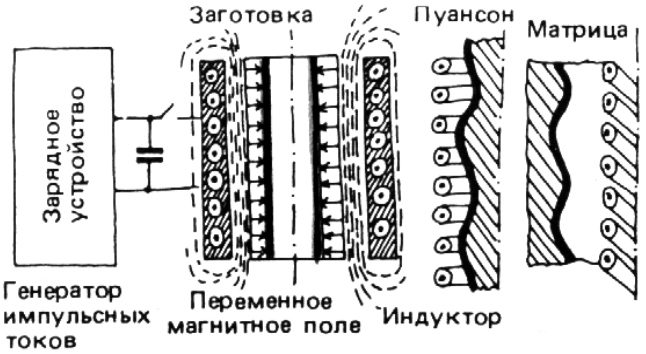

Рис. 77. Схема электромагнитной штамповки при обжиме и раздаче

Кратковременность приложения нагрузки и высокие скорости деформирования обеспечивают возможность изготовления инструмента (матрицы-оправки или пуансона-оправки) из конструкционных сталей, что резко снижает стоимость оснастки.

Магнитно-импульсная штамповка позволяет получать не только детали, но и производить неразборные соединения, в отдельных случаях достигая даже герметичности.

Для объемной и листовой штамповки в качестве основного оборудования широкое применение нашли гидравлические и кривошинные прессы. Кривошинный пресс работает следующим образом, рис. 78.

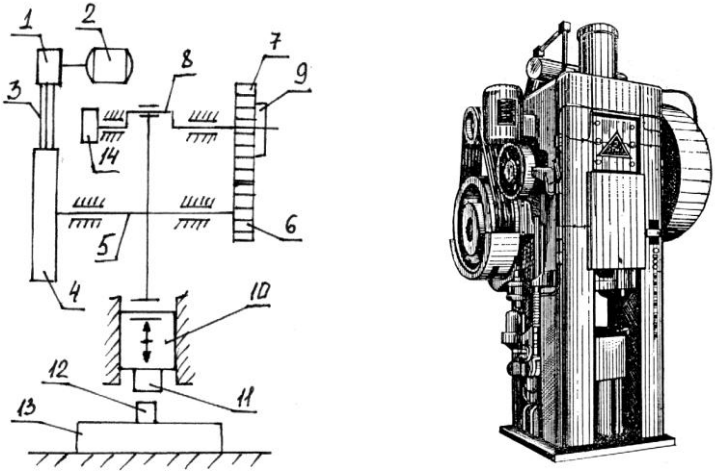

Рис. 78. Схема кривошинного пресса

От шкива 1 электродвигателя 2 вращение передается при помощи клиновидных ремней 3 маховику 4, сидящем на приводном валу 5. С противоположной стороны этого вала закреплено зубчатое колесо 6, которое зацепляется с зубчатым колесом 7, свободно вращающемся на кривошинном валу 8. Зубчатое колесо 7 соединяется с кривошинным валом 8 муфтой 9. Вращение кривошинного вала приводит к возвратно-поступательному движению ползуна 10, в котором закреплена верхняя половина штампа 11. Нижняя половина штампа 12 крепится на столе пресса 13. Для остановки вращения кривошинного вала служит тормоз 14.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите детали, полученные горячей объемной и холодной листовой штамповкой.
2. Приведите схему горячей объемной штамповки.
3. Чем горячая объемная штамповка в открытых штампах отличается от штамповки в закрытых штампах?
4. Зачем нужен облой?
5. В каких случаях используют объемную штамповку в нескольких ручьях?
6. Как изготавливают объемной штамповкой деталь "шатун"?
7. Какие заготовки используют при объемной и листовой штамповке?
8. Перечислите основные разделительные и формоизменяющие операции листовой штамповки.
9. Опишите технологический процесс изготовления детали "шайба".
10. С помощью каких операций можно получить бидон?
11. Дайте определение гибки, вытяжки, отбортовки и приведите схемы этих процессов.
12. Достоинства штамповки эластичным инструментом.
13. Особенности штамповки взрывом.
14. Сущность магнитно-импульсной штамповки.
15. Как работает кривошинный пресс простого действия?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лернер, П. С. Послушный металл / П. С. Лернер. – М.: Просвещение, 1989.

2. Беккерт, М. Мир металлов / М. Беккерт. – М.: Мир, 1980.

3. Ляшков, В. Д. Процессы обработки металлов давлением / В. Д. Ляшков. – Свердловск: УПИ, 1977.

4. Ламан, Н. К. Развитие техники обработки металлов давлением с древнейших времен до наших дней / Н. К. Ламан. – М.: Наука, 1990.

5. Лернер, П. С. Обработка металлов давлением сегодня и завтра / П. С. Лернер. – М.: Высшая школа, 1990.

6. Кузнецов, Е. В. Как делают трубы / Е. В. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1987.

7. Муслин, Е. Металл меняет форму / Е. Муслин. – М.: Машиностроение, 1968.

8. Коровский, М. Я. Летающие металлы / М. Я. Коровский. – М.: Машиностроение, 1977.

9. Николаев, Г. И. Металл века / Г. И. Николаев. – М.: Металлургия, 1982.

10. Навроцкий, А. Г. Кузнечное ремесло / А. Г. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1988.

11. Кузнецов, Е. В. Послушный металл / Е. В. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1988.

12. Рейс, Ф. 500 советов студентам / Ф. Рейс; пер. с англ. Д. Н. Вылегжанина. – М.: Аудит; ЮНИТИ, 1996.

13. КуАИ-СГАУ 1942–2002. – Самара: СГАУ, 2002. – 354 с.

14. От КуАИ до СГАУ. Сборник очерков. – Самара: Самарский информационный концерн, 2002. – 495 с.

Учебное издание

Каргин Владимир Родионович,
Заббаров Рахим,
Хардин Михаил Викторович

ВВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЮ

Часть 2

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Учебное пособие

Редактор Т. С. З и н к и н а
Доверстка Т. С. З и н к и н а

Подписано в печать 22.11.2011. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 4,25.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С – Д1(7)/2011.

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Для заметок

Для заметок