Глава 19. Получение машиностроительных профилей

19.1. Прокатное производство

Прокатка — вид обработки давлением, при котором исходная заготовка — слиток или отливка — под действием сил трения непрерывно втягивается между вращающимися валками и пластически деформируется с уменьшением толщины и увеличением длины, а иногда ширины. Прокатке подвергаются почти 90% всей выплавляемой стали и значительная часть цветных металлов. В зависимости от формы и расположения валков и заготовок по отношению к ним различают следующие основные виды прокатки: продольная, поперечная и поперечно-винтовая.

При **продольной прокатке** (рис. 19.1, *а)* заготовка *1* деформируется между двумя валками 2, вращающимися в разные стороны, и перемещается в направлении, перпендикулярном осям валков.

При **поперечной прокатке** (рис. 19.1, б) валки 2 вращаются в одном направлении, а заготовка *1*, имеющая форму тела вращения, перемещается параллельно осям валков и обжимается по образующей с увеличением длины и уменьшением площади поперечного сечения.

При **поперечно-винтовой прокатке** (рис.19.1, в) валки 2 расположены под углом друг к другу, вращаются в одну сторону и при обжатии заготовки *1* сообщают ей вращательное и поступательное движения. В процессе прокатки во всех случаях перемещение заготовки между валками обеспечивается наличием контактного трения между обрабатываемой заготовкой и рабочей поверхностью валков.

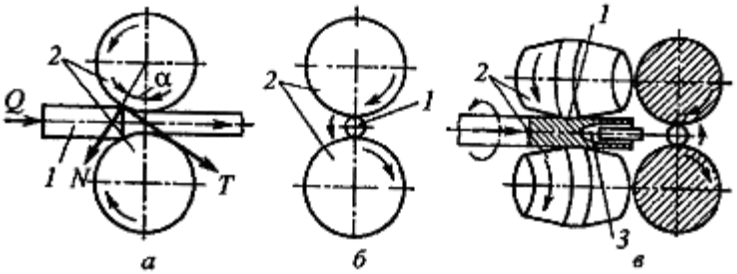

Рис. 19.1. Схема основных видов прокатки:
а — продольная ; *б* — поперечная; *в* — поперечно-винтовая

Для нормального протекания процесса, особенно для его начала в период захвата, необходима определенная величина сил трения (рис. 19.1, *а).* Со стороны валков на заготовку действуют нормальные силы *N* и сила трения *T*. Для соблюдения условий захвата и перемещения заготовки в направлении прокатки необходимо, чтобы $N\sin\alpha < T\cos\alpha$. Угол а, при котором это условие выполняется, называется *углом захвата*. Выразив силу трения как $T = fN$, где f— коэффициент трения, и подставив в формулу условия захвата, получим $\sin\alpha < f\cos\alpha$ или $f > \mathrm{tg}\alpha$, т.е. для обеспечения захвата заготовки валками необходимо, чтобы тангенс угла захвата был меньше коэффициента трения.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен 15—24°, при холодной — 5—8°.

Таким образом, степень обжатия заготовки при прокатке в значительной степени определяется углом захвата или коэффициентом трения между валками и заготовкой. Для его увеличения часто на поверхность валков наносят риски, рифления, специальные наплавочные валики, повышая тем самым допустимую величину абсолютного обжатия.

Инструментом прокатки являются валки, которые могут быть гладкими (рис. 19.2, *а)* для проката листов, полос и т. д. либо с фигурными вырезами (рис. 19.2, б) — ручьями. Совокупность соответствующих вырезов в верхнем и нижнем валках образует *калибр*. Пара валков обычно имеет несколько калибров. Калибры могут быть открытыми или закрытыми (рис. 19.2, *в, г)*.

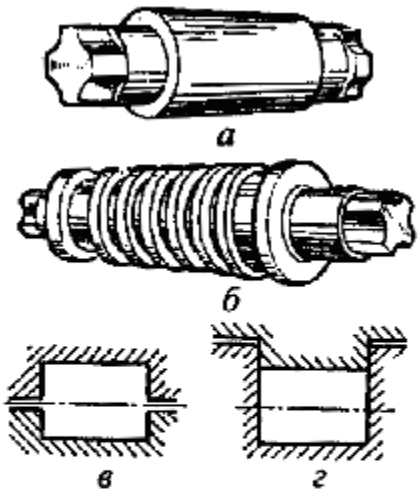

Рис. 19.2. Прокатные валки и калибры:
а — гладкий; *б* — с фигурными вырезами; *в* — калибр открытый; *г* — калибр закрытый

Валки вращаются в подшипниках, которые у одного из валков могут перемещаться специальным механизмом. Вследствие этого изменяется расстояние между осями деформирующей пары валков и соответственно изменяется абсолютная величина обжатия.

Комплект прокатных валков со станиной называется *рабочей клетью.* Прокатные станы подразделяют по числу и расположению валков в клетях на дуо, трио, кварто, многовалковые и универсальные.

Дуо-клеть имеет два валка (рис. 19.3, *а).*

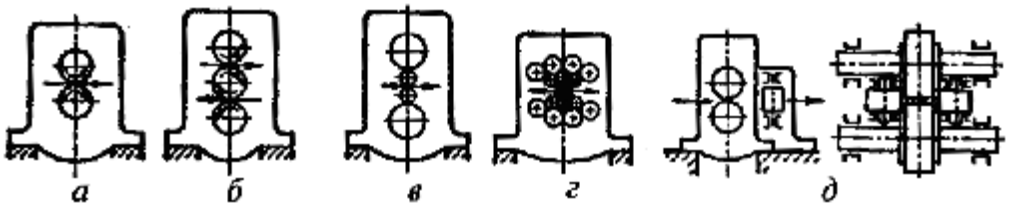

Рис. 19.3. Рабочие клети прокатных станов:
а — дуо; *б* — трио; *в* — кварто; *г* — многовалковый; *д* — универсальные

Если они могут вращаться только в одну сторону, клеть называется *нереверсивной.* Такие клети применяются для прокатки сортового металла, проволоки тонких листов. У *реверсивных* дуо-клетей валки могут изменять направление вращения; они применяются для прокатки крупных слитков, толстых листов, массивных профилей. Клеть трио (рис. 19.3, б) имеет три валка, расположенных в одной вертикальной плоскости. Направление вращения валков всегда постоянно. Прокатываемая заготовка после каждого прохода смещается в новое положение, постоянно работает средний валок. Этим обеспечивается реверс направления заготовки. Трио-клеть используется для прокатки сортового металла. В связи с развитием непрерывной прокатки они применяются все реже.

В клетях кварто (рис. 19.3, в) четыре валка расположены в одной плоскости, два средних малого калибра имеют привод и являются рабочими. Два других валка большого диаметра отдельного привода не имеют и выполняют функции опорных, уменьшая деформации рабочих. Этим обеспечивается большая точность поперечного сечения проката толстых и тонких листов. Нереверсивные кварто-клети используются в непрерывных многоклетьевых, а реверсивные — в одноклетьевых станах.

Многовалковые клети имеют от шести до двадцати валков и более. Обычно рабочие валки малого диаметра не имеют привода; их вращение обеспечивается за счет трения от

промежуточных приводных валков, которые, в свою очередь, опираются на опорные (рис.19.3, *г*).

Многовалковые клети применяются для прокатки широких листов большой точности, а также для прокатки тонких лент и фольги толщиной менее 0,2 мм.

Универсальные станы имеют парные горизонтально и вертикально расположенные валки, ограничивающие течение металла в ширину. Расстояние между валками может изменяться, поэтому они позволяют получать как лист, так и любой прямоугольный профиль с ровными боковыми стенками. Их применяют для прокатки толстых листов, высоких двутавровых балок с широкой полкой (рис. 19.3, *д*).

Форму поперечного сечения продукции, получаемой при прокатке, называют *профилем*. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют *сортаментом*. Сортамент проката подразделяется на группы: сортовой прокат, листовой, трубы и профили специального назначения.

В свою очередь, сортовой прокат по форме сечения разделяют на простой — геометрической формы — круг, квадрат, шестигранник и другие; фасонный — уголки, тавры и двутавры, рельсы, швеллеры и др. (рис. 19.4). Цветные металлы прокатывают обычно на простые профили.

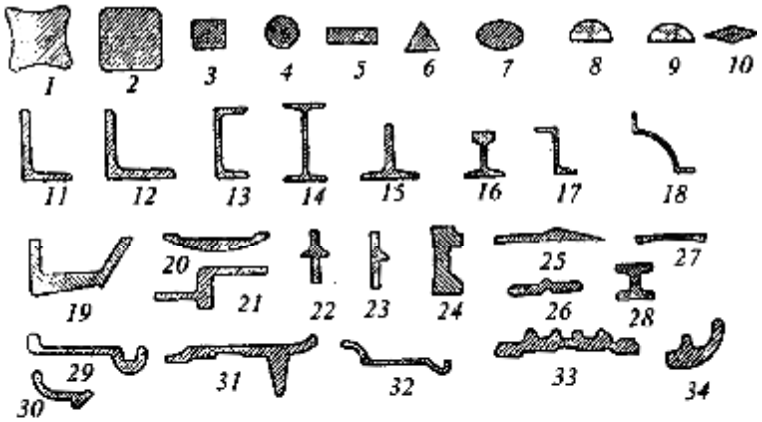

Рис. 19.4. Разновидности профилей проката:
1—10 — простые; *11—17* — фасонные; *18—34* — сложные специальные

Листовой прокат условно подразделяется на толстолистовой (от 4 мм и больше) и тонколистовой (менее 4 мм). Поскольку листовая сталь находит наиболее широкое применение, ее подразделяют на автотракторную, трансформаторную, кровельное железо, жесть, листовую сталь со специальными покрытиями, биметаллический лист и т. д.

19.2. Производство распространенных видов проката

Производство блюмов, слябов и сортового проката. Исходными заготовками при производстве сортового проката или листов являются слитки. Перед прокаткой слитки подогревают до температуры 1300 °С и прокатывают на блюминге, получая заготовки квадратного сечения со сторонами от 450х450 до 150х150, называемые *блюмами*. (В настоящее время блюмы и слябы чаще получают при непрерывной разливке стали.)

В свою очередь блюмы являются исходным материалом для получения крупных профилей на крупносортных станах либо разрезаются на мерные куски и прокатываются на заготовки квадратного сечения от 150х150 до 60х60 мм, которые после охлаждения и поверхностной обработки (зачистки) направляют на средне- и мелкосортные либо на проволочные станы. Устанавливают непрерывные заготовочные станы вблизи блюминга, и прокатка на них производится сразу после получения блюма без дополнительного нагрева.

Слитки более крупные — до 60 т — прокатывают на *слябы* прямоугольного сечения с максимальной толщиной до 350 мм и шириной до 2300 мм. Слябы являются исходным материалом для прокатки на толстый лист.

После прокатки на слябинге часть проката направляется на заготовочные станы. Полученные полосы режут на мерные куски необходимой длины — сутунки — и передают на склад для охлаждения. Последующая обработка включает отделочные операции: зачистка, травление, удаление поверхностных дефектов.

Выход годной продукции на этих операциях в зависимости от качества слитка и степени раскисленности составляет 90—80%.

Полученные таким образом заготовки после отделочных операций направляются на сортовые и листопрокатные станы.

На сортовых станах заготовка после нагрева в печах последовательно проходит прокатку в 7—15 калибрах, в последнем из которых получают требуемый профиль (рис. 19.5).

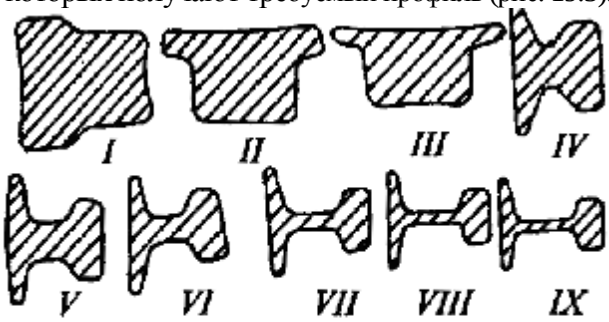

Рис. 19.5. Последовательность проката рельса на сортопрокатном стане

После резки на мерные дайны полученный профиль охлаждают, правят в холодном состоянии, производят термическую обработку.

Для производства толстых листов слябы прокатывают в двух взаимно перпендикулярных направлениях — в продольном и поперечном — для получения нужной ширины и снижения степени анизотропности готовой продукции. Прокатку толстых листов проводят на одно- или двухклетьевых станах в горячем состоянии.

Тонколистовую сталь прокатывают в горячем или холодном состоянии. Горячекатаные листы обычно получают толщиной свыше 1,25 мм. Для получения листов меньшей толщины в качестве заготовок применяют горячекатаные листы; после отжига, удаления окалины травлением и промывки производят прокатку на одно- или многоклетьевых непрерывных четырех- или многовалковых станах. Листы, предназначенные для холодной листовой штамповки, после отжига дополнительно обрабатывают на дрессировочных станах. Дрессировка производится на станах холодной прокатки с обжатиями в пределах до 3% с целью получения наклепа. Полученные после дрессировки, отжига и травления листы называются *декапированными.*

Современная технология позволяет получать непрерывной холодной прокаткой листы толщиной менее 0,1 мм с суммарным обжатием до 80— 90% без промежуточной термической обработки.

19.3. Производство бесшовных и сварных труб

Трубы подразделяют на *бесшовные* и *сварные.* Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30—650 им с толщиной стенки от 2 до 160 мм, сварные — диаметром от 5 до 2500 мм. Материалом для производства труб могут быть как углеродистые, так и легированные стали, цветные металлы. В качестве заготовки для производства бесшовных труб применяют круглые или граненые слитки, а также круглые катаные прутки большого диаметра. Основной операцией является прошивка заготовки, т. е. получение в заготовке сквозного отверстия. Перед прошивкой заготовку нагревают в методической печи до температуры горячей обработки давлением и направляют на прошивочный стан с двумя бочкообразными валками, оси которых расположены под углом 10—15° друг к другу (см. рис. 19.1, в). Таким образом, при прошивке отверстия используется принцип поперечно-винтовой прокатки. В результате вращательно-поступательного движения заготовки при достаточно большой степени обжатия в центре заготовки возникают весьма значительные радиальные растягивающие напряжения, вызывающие течение металла от центра периферии. Металл в центре доводится до состояния разрыхления, и заготовка легкой прошивается неподвижным прошвинем 3, надвигаясь на него в результате поступательного движения заготовки. Диаметр полученной гильзы мало отличается от диаметра исходной заготовки, а величина вытяжки в результате прошивки составляет 200—300%.

Последующая обработка гильзы для получения нужного диаметра трубы и толщины стенки выполняется на автоматическом нереверсивном дуо-стане, в валках которого имеются последовательно расположенные круглые калибры.

Прокатка производится на оправке, диаметр которой меньше диаметра отверстая в калибре на удвоенную толщину стенки трубы (рис. 19.6, α).

Рис. 19.6. Прокатка труб на оправке с целью уменьшения толщины (*а*) и гильз на пилигримном стане (*б*)

Прокатка проводится несколько раз; каждый раз трубы вместе с оправкой поворачиваются в валках на 90°. Способ позволяет получать трубы диаметром 57—426 мм с толщиной стенки 3—30 мм. Производительность одной установки до 300 тыс. т в год.

Значительно больший диапазон возможностей при прокатке гильз на пилигримных станах: диаметр трубы 48—605 мм при толщине стенок 225—50 мм. Рабочие валки стана имеют ручьи переменной ширины и высоты по окружности, т. е. имеют рабочую часть, где они образуют калибр, размер которого соответствует требуемому диаметру трубы, и холостую, где эти размеры существенно больше (рис. 19.6, *б*).

В гильзу вводят дорн, на котором раскатывают трубы между двумя вал- ками с калибрами переменного профиля. При вращении валков гильзу вме- сте с дорном периодически подают на 25—80 мм в зазор между валками в момент совпадения холостой части обоих валков. При дальнейшем вращении валков размеры калибра уменьшаются и валки обжимают заготовку, которая вместе с дорном перемещается назад. После полного оборота валков гильза опять подается вперед, одновременно поворачиваясь на 90°, и снова попадает в деформирующую часть валков. При этом после деформирования полирующая часть валков выравнивает диаметр и толщину стенки трубы. Вытяжка при такой прокатке может достигать 10—14-кратной величины. Производительность установки до 250 тыс. т в год.

Прокаткой на непрерывном трубопрокатном стане получают трубы диаметром 29—108 мм и толщиной стенки 8—12 мм. Производительность их достигает 900 тыс. т в год.

Сварные трубы из низкоуглеродистых и низколегированных сталей изготавливают из прокатанных полос, называемых штрипсами, или листов, ширина которых равна длине диаметра (или половине диаметра) трубы. Процесс производства трубы включает в себя формовку плоской заготовки в трубу, сварку (печную, электрическую, газовую, высокочастотную и др.), правку, калибровку.

Печной сваркой получают трубы небольшого диаметра до 10—114 мм и толщиной 2—5 мм из низкоуглеродистой стали. Процесс включает в себя нагрев полос в газовой печи до 1300—1350 °С, формовку нагретого участка в сварочной воронке и обжатие со значительной пластической деформацией. Процесс осуществляется на непрерывных станах со скоростью до 200 м/мин.

Большое распространение при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов получил способ с применением электросварки под флюсом.

Производят сварные трубы с прямыми и спиральными швами. По первой технологии из листа формируют трубную заготовку, затем ее сваривают с наложением наружного и внутреннего швов. При производстве труб со спиральным швом в качестве исходной заготовки используют ленту, которую сворачивают по спирали в трубу нужного диаметра и затем сваривают по кромке наружным и внутренним швами. Прочность, а главное надежность, труб со спиральным швом выше, чем с прямым.

19.4. Производство специальных видов проката

Профили специального назначения, производимые методами прокатки, отличаются большим разнообразием. Многие из них производятся не на металлургических, а на машиностроительных предприятиях. Все их можно отнести к двум группам: *периодический* и *специальный* прокат. Как правило, все разновидности специальных профилей производят на станах поперечной либо поперечно-винтовой прокатки. Принцип прокатки периодических профилей, служащих заготовками для других видов обработки, заключается в применении валков, периодически смещающихся по мере продвижения заготовки. Большую группу заготовок производят на станах поперечно-винтовой прокатки: шары для подшипниковой промышленности, заготовки для шатунов двигателей, ролики, ребристые трубы, вагонные оси, цельнокатаные вагонные колеса, зубчатые колеса и др. (рис. 19.7).

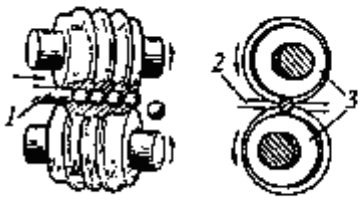

Рис. 19.7. Прокатка шаров:
1 — заготовка, *2* — ограничитель; *3* — прокатные валки

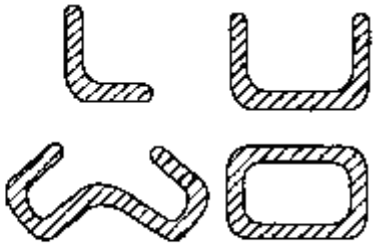

Рис. 19.8. Виды гнутых профилей

Применение специальных технологий и оборудования для производства ряда изделий прокаткой взамен традиционно существующих методов позволяет резко увеличить производительность и повысить качество изделий.

Поперечное сечение горячекатаных профилей очень часто оказывается существенно завышено по сравнению с требованиями расчета и конструктивными особенностями изделия. Однако технологические особенности прокатки не позволяют получить сечения меньшей толщины. При необходимости снизить массу конструкции нередко приходится прибегать к механической обработке, уменьшать сечение элементов, переводя излишний металл в стружку. Во многих случаях более рациональным является применение гнутых профилей, изготавливаемых в холодном состоянии на роликовых листогибочных станах. Заготовкой для производства гнутых профилей является горяче- и холоднокатаная полоса или лента. Процесс профилирования прокаткой является непрерывным и заключается в изменении формы поперечного сечения полосы при сохранении толщины, равной толщине исходной ленточной заготовки. В зависимости от конструкции стана и конфигурации применяемых пар валков-роликов лента последовательно приобретает очертания сечения, приближающиеся к требуемому. Прокатку полосы осуществляют в нескольких клетях; для сложных профилей их может быть 15 и более. Высокая производительность процесса (до 3 м/с) наряду с существенным снижением массы элементов определяет широкое применение гнутых профилей в автомобильной и авиационной промышленности, машиностроении и строительстве.

На рис. 19.8 представлены примеры закрытых и открытых гнутых профилей. Процесс профилирования прокаткой легко совмещается со сваркой, пробивкой отверстий, окраской и другими технологическими процессами.

19.5. Волочение

Волочение — процесс протягивания прутка через отверстие, размеры которого меньше, чем исходные размеры прутка. При этом длина прутка увеличивается, а поперечное сечение приобретает форму отверстия с одновременным уменьшением поперечного сечения. Волочение производят в холодном состоянии. Исходным материалом могут быть горячекатаный пруток, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали, цветные металлы и сплавы.

Этим способом получают проволоку, в том числе и с минимальным диаметром до 0,002 мм, прутки простой и сложной конфигурации сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные, фасонные шпонки и др. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемого изделия.

Основной инструмент при волочении сплошных профилей — волоки различной конструкции, а при волочении полых профилей — волоки и оправки к ним (рис. 19.9).

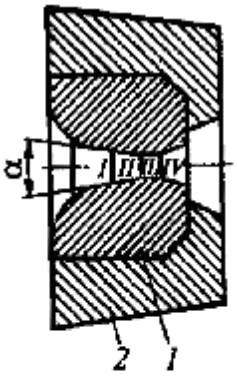

Рис. 19.9. Сферическая входная часть волоки:
I — смазывающий конус, *II* — деформирующий конус, *III* — калибрующий поясок, *IV* — выходной конус

Волока *1*закрепляется в обойме *2,* которая затем крепится на жесткой волочильной доске. Волока работает в сложных условиях — большое напряжение сочетается с износом при протягивании. Поэтому их изготавливают из твердого металлокерамического сплава, состоящего из карбидов вольфрама, титана, бора и др. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмазов. Волоки имеют сложную конфигурацию: входная часть обычно выполняется сферической, затем располагается смазывающий конус *I* за ним деформирующий *(II)* с углом в вершине α.

Угол α зависит от твердости обрабатываемого материала, от сечения заготовки, а также от коэффициента контактного трения и составляет 8-24°.

За деформирующей частью располагаются цилиндрический калибрующий поясок *(III)* и выходной конус *(IV)*.

Волочение осуществляют на волочильных станах, состоящих из тянущего устройства и волочильного инструмента. По типу тянущего устройства волочильные станы подразделяются на станы с прямолинейным движением протягиваемого материала (цепной, реечный, гидравлический) и с наматыванием его на барабан (барабанный тип). Станы барабанного типа применяются в основном для получения проволоки, редко для сплошных и полых профилей и только для тех случаев, когда изгиб при наматывании на барабан не нарушает формы поперечного сечения.

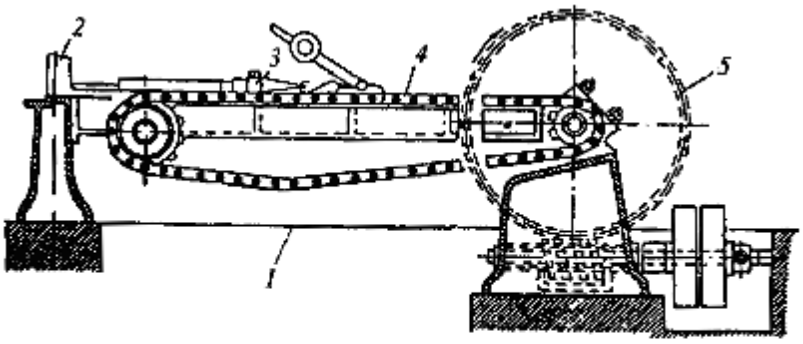

Рис. 19.10. Схема волочильного стана цепного типа:
1 — станина; *2* — волока; *3* — волочильная тележка; *4* — цепь; *5* — привод волочильной тележки

На рис. 19.10 приведена схема стана цепного типа. Основными элементами его являются станина *1*, механизм перемещения тележки *5*, бесконечная цепь *4*, тележка с захватом *3*, стойка для крепления инструмента — волоки *2*. Длина протягиваемого изделия на ценных станах ограничивается длиной станины и обычно не превышает 15 м. Скорость волочения на цепных станах довольно значительна — до 2 м/с.

Барабанные станы в зависимости от назначения могут быть однобарабанные, или однократные, и многобарабанные (рис. 19.11).

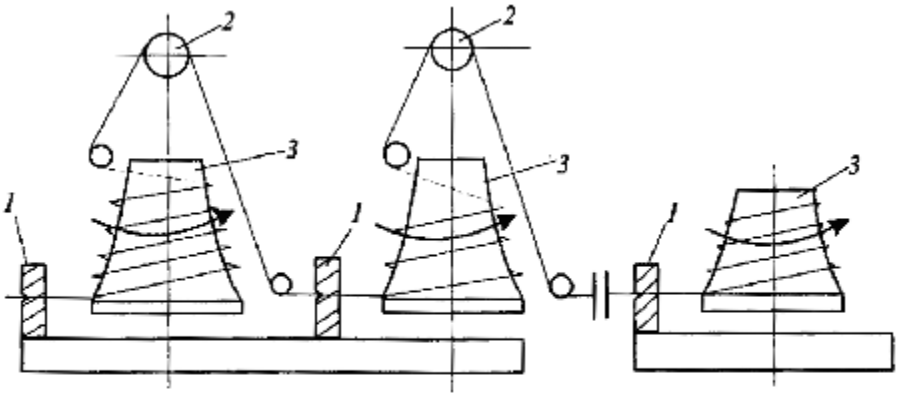

Рис. 19.11. Схема стана барабанного типа:
1 — волочильная доска; *2* — натягивающее устройство; *3* — барабан

Первые применяют при волочении толстой проволоки диаметром 4—25 мм и иногда труб; при волочении труб диаметр намоточного барабана увеличивают с 450 мм до 2000 м. Скорость волочения в этом случае также составляет 1,5-2 м/с.

В станах многократного волочения обработка происходит последовательно в нескольких волоках: протягиваемый профиль при выходе из одной волоки наматывается на барабан и поступает в следующую волоку и т.д. Многократный стан может иметь до 30 волок. Скорость волочения может достигать 20 м/с. Если привод на все барабаны один, то в этом случае скорость вращения барабанов должна быть возрастающей в соотношении, обеспечивающем постоянство секундного объема, т. е.

$$F_1 \upsilon_1 = F_2 \upsilon_2 = F_n \upsilon_n,$$

где F — площадь сечения профиля при выходе из очередной волоки; υ — скорость протягивания.

Заготовки перед волочением подвергают термической обработке для снятия наклепа и придания металлу необходимых пластических и прочностных характеристик. Непосредственно перед волочением заостряют конец заготовки, удаляют окалину механическим, химическим или электролитическим методами, промывают и наносят подсмазочный слой, который должен удерживать смазку и предохранять рабочую поверхность волоки от налипания металла.

Подсмазочный слой может быть различным: тонкий слой гидроксида железа $Fe(OH)_n$, медный, фосфатный, известковый др. Перед каждой фильерой поверхность заготовки смазывают для уменьшения трения металла о стенки фильеры.

Степень деформации при волочении обычно не превышает 30—35% и определяется по формуле $\psi = (F_0 - F_1)/F_0 \cdot 100\%$. Коэффициент вытяжки при этом составляет за один проход μ = 1,25—1,45 и определяется из условия допустимого усилия волочения, которое не должно превышать

$$P_B < \sigma_{0.2} F_0 \text{ или } P \leq K F_1 \sigma_B$$

где К= 0,7—0,8.

В случае несоблюдения этого условия напряжения выше $\sigma_{0.2}$ могут привести к местному течению металла и изменению сечения заготовки. При необходимости получить большую величину деформации производят многократное волочение. В этом случае полученный в процессе предыдущих операций наклеп снимают отжигом, затем проводят все подготовительные операции и повторяют процесс до получения изделия нужного сечения.

На рис. 19.12, а представлены примеры некоторых сплошных профилей, получаемых волочением, а на рис. 19.12, б — схемы получения пустотелых профилей на примере трубы. Волочение обеспечивает высокую точность размеров, малую шероховатость поверхности, большую степень упрочнения. Изделия после волочения, как правило, механически не обрабатывают.

19.6. Прессование

Прессование — процесс выдавливания металла из контейнера через одно или несколько отверстий в матрице с площадью меньшей, чем поперечное сечение исходной заготовки. При прессовании реализуется одна из самых благоприятных схем нагружения, обеспечивающая максимальную пластичность — всестороннее неравномерное сжатие. Это позволяет обрабатывать даже малопластичные материалы. Обычно коэффициент вытяжки при прессовании составляет 10—50, а в отдельных случаях может быть значительно выше.

Прессование может выполняться двумя методами — прямым и обратным (рис. 19.13).

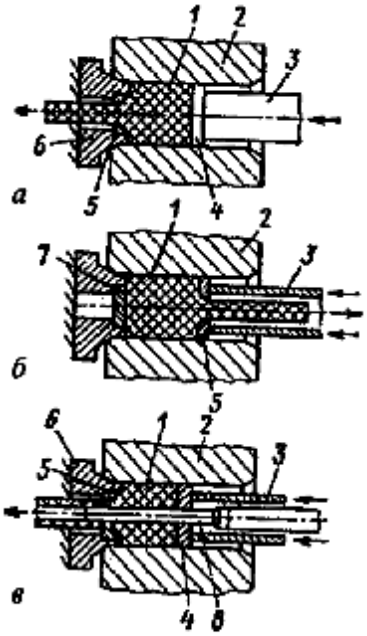

Рис. 19.13. Схемы прессования прямого (*а*), обратного (*б*) и получение пустотелого (*в*) профиля на примере трубы: *1* — заготовка; *2* — контейнер; *3* — пуансон; *4* — пресс-шайба; *5* — матрица; *6* — матрица-держатель; *7* — заглушка; *8* — игла

При обратном прессовании (рис. 19.13, б) давление пресса передается через полый пуансон *3* с смонтированной внутри его матрицей *5*. Таким образом, металл заготовки *1* течет навстречу движению пуансона.

При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри матрицы. Отчасти поэтому значительная часть металла заготовки не может быть выдавлена из контейнера. Остающаяся его часть — пресс-остаток — составляет в отдельных случаях 30—40% от массы исходной заготовки.

Усилие при обратном прессовании примерно на 25% меньше, пресс-остаток также почти вдвое меньше, чем при прямом.

Однако сложность конструкции пресса, ограниченность размеров получаемых изделий по длине препятствуют широкому применению способа обратного прессования.

К достоинствам процесса прессования следует отнести возможность получения изделий

сложных профилей, в том числе и пустотелых, не только из высокопластичных, но и малопластичных металлов и сплавов; универсальность применяемого оборудования, позволяющего легко переходить на производство профилей различных конфигураций; достаточно высокую точность размеров и малую шероховатость поверхности получаемых изделий. На рис.19.13, *в* представлена схема получения пустотелого профиля типа тонкостенной трубы. Инструмент для прессования — контейнер, матрица, пресс-шайбы, иглы — работают в очень сложных условиях: больших удельных давлений до 150 кгс/мм^2 и часто при высоких температурах. Температурный интервал прессования цветных металлов 500—900 °С, а сталей, никелевых и титановых сплавов 1000—1250 °С. Поэтому для изготовления инструмента применяют дорогие материалы с повышенными жаростойкостью и прочностными характеристиками. Стоимость комплекта инструмента для получения пустотелых профилей иногда достигает 15% от стоимости всего агрегата.

В качестве силового агрегата для прессования наибольшее распространение получили гидравлические прессы с усилием прессования 1000—5000 т. Они не боятся перегрузки, позволяют регулировать в широких пределах скорость перемещения силового плунжера, легко автоматизируются, в том числе с помощью систем программного управления.

Прессование широко применяют для получения изделий из меди, латуни, бронзы, алюминия, магния, цинка, титана, сталей, сплавов никеля.

Качество получаемого продукта в существенной степени зависит от правильности выбранного режима и качества исходной заготовки. Например, минимальная вытяжка должна быть не менее 10-кратной; допускаются вытяжки весьма значительные: для меди—280, латуни — 700, алюминия — 1000.

Считается оптимальным отношение длины к диаметру заготовки, равное 2—3 при производстве сплошных профилей и 1,5—2 для пустотелых.

Подготовка исходной заготовки заключается в зачистке поверхности и удалении обнаруженных дефектов, прошивке отверстий при производстве полых профилей, нанесении технологической смазки на поверхность. Роль смазки чрезвычайно высока: она снижает усилие деформирования, уменьшает неравномерность течения металла при прессовании, удлиняет срок службы инструмента, повышает качество поверхности.

Выбор состава смазки зависит от рода обрабатываемого материала. Это может быть графит, добавляемый в минеральные масла, добавки канифоли. Для стали, сплавов никеля и титана, прессование которых ведут при высоких температурах, в качестве смазки применяют стекло.

На рис. 19.14 представлены примеры поперечного сечения профилей, полученных прессованием.

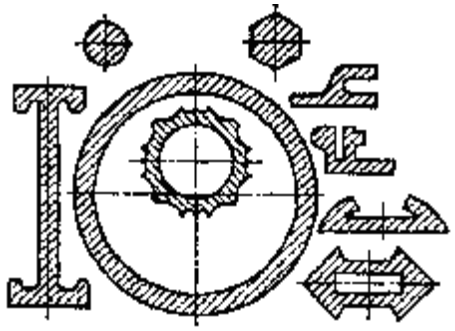

Рис. 19.14. Примеры прессованных профилей

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды прокатных станов.
2. Каковы основные операции при прокатке бесшовных труб?
3. Как осуществляется процесс волочения проволоки и труб? В чем отличия в оборудовании?
4. Сущность процесса прессования. Что такое прямое, обратное прессование?
5. Почему пресс-остаток при прямом прессовании больше, чем при обратном?

Глава 20. Получение машиностроительных заготовок

Почти каждый машиностроительный завод имеет кузнечные или куз-нечно-шгамповочные цехи, в которых изготовляют поковки различного назначения методами ковки или горячей объемной штамповки. В современном машиностроении около 20% всех деталей получают из поковок. Ковкой и объемной штамповкой изготавливают заготовки и детали массой от десятков граммов (например; детали швейных машин) до сотен тонн (например, поковки роторов турбин), размерами от сантиметров до десятков метров. Ковкой и штамповкой могут быть обработаны почти все используемые в промышленности металлы и сплавы. Для труднообрабатываемых и малопластичных сплавов применяют специальные способы обработки.

В зависимости от объема производства, массы, конфигурации и материала поковок, технических требований к поковкам, производственных условий и других факторов поковки получают либо методами ковки, либо объемной штамповкой. В штучном и мелкосерийном производстве применяют ковку.

20.1. Ковка

Ковкой называют вид обработки давлением, при котором исходную заготовку деформируют универсальным инструментом — бойками: при этом течение металла в стороны перпендикулярно действующему усилию не ограничивается. Ковка предназначена для придания заготовке формы, приближающейся-* форме готовой детали. Одновременно с этим при ковке улучшаются механические свойства литого металла исходной заготовки.

Основные операции ковки — осадка, протяжка, пробивка, прошивка, гибка, скручивание, отрубка и кузнечная сварка.

Осадка — уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения (рис. 20.1, α).

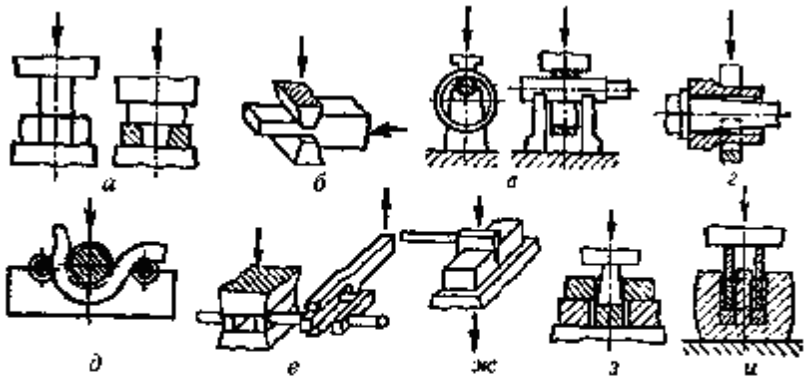

Рис. 20.1. Операции ковки:
а — осадка; *б* — протяжка; *в* — раскатка; *г* — протяжка на оправке; *д* — гибка; *е* — закручивание; *ж* — рубка, *з* — пробивка; *и* — прошивка

Осадку производят бойками или осадочными плитами. Заготовки, у которых отношение высоты к диаметру или к меньшей стороне поперечного сечения больше 2,5, осаживать не рекомендуется во избежание возможного изгиба заготовки. Осадку применяют для увеличения площади поперечного сечения поковки.

Протяжка (рис. 20.1, *б)* — удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Она осуществляется последовательными обжатиями отдельных, примыкающих друг к другу участков заготовки при ее подаче вдоль оси.

Разновидности протяжки: раскатка (рис. 20.1, *в)* и протяжка на оправке (рис. 20.1, *г).* Раскатка — увеличение диаметра кольцевой заготовки при вращении за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка и оправки. При раскатке ширина кольца несколько увеличивается. Инструментами для раскатки служат плоский боек, оправка и люнет. Протяжка на оправке — увел чение длины прошитой или просверленной заготовки за счет обжатия ее по обе стороны оправки двумя бойками (нижним вырезным и верхним плоским или обоими вырезными бойками). При протяжке наружный диаметр и толщина стенки заготовки

уменьшаются. Раскаткой изготовляют поковки колец, а протяжкой на оправке — поковки сосудов высокого давления, стволов орудий и др.

Гибка (рис. 20.1, *д)* — образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Гибку осуществляют с помощью различных опор, приспособлений и в подкладных штампах.

Скручивание (рис. 20.1, *е)* — поворот части заготовки вокруг продольной оси. Осуществляют ее, например, при развороте колен коленчатых валов.

Рубка (рис. 20.1, *ж)* — полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Рубку осуществляют топорами для удаления прибыльной и донной частей слитка, лишних концов поковки или для разделения длинной поковки на более короткие части.

Пробивка (рис. 20.1, з) — образование в заготовке отверстия с удалением материала в отход путем сдвига. Отверстия диаметром до 500 мм пробивают сплошным прошивнем с применением подкладного кольца, а отверстия большего диаметра прошивают полым прошивнем, применяя в случае высокой заготовки надставки. Часть металла удаляют при этом вместе с прошивнем.

Прошивка (рис. 20.1, и) — получение полостей в заготовке за счет вытеснения материала. Она служит самостоятельной операцией для образования отверстия либо подготовительной операцией для последующей раскатки или протяжки заготовки на оправке.

Кузнечная сварка — образование неразъемного соединения под действием давления в нагретом состоянии. В связи с развитием новых видов сварки эта операция применяется редко.

При получении крупных поковок массой от нескольких сотен килограммов до 300 т (валы гидротурбин, турбинные диски, валки прокатных станов) в качестве заготовок используют слитки массой до 350 т. Для более мелких поковок в качестве заготовок применяют прокат в виде полупродукта или сортового профиля круглого либо квадратного сечения.

Микро- и дислокационная структура металла после ковки (как и после штамповки) не является окончательной, она определяется последующей термообработкой поковок. Термообработка, особенно крупных поковок, облегчается, если поковки после ковки имеют более мелкое зерно. Зерна увеличиваются при нагреве до ковочных температур, поэтому все участки нагретой заготовки должны быть прокованы для измельчения зерен, и ковку следует заканчивать при температурах, близких к нижнему пределу ковочных температур, чтобы избежать роста зерен после ковки в остывающей поковке.

20.2. Горячая объемная штамповка (ГОШ)

Объемная штамповка — вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки осуществляется пластическим деформированием заготовки в специальном инструменте — штампе. Полости в верхней и нижней частях штампа называют *ручьями штампа*.

Течение металла в штампе ограничивается поверхностями полости штампа, и в конечный момент штамповки при смыкании они образуют единую замкнутую полость, соответствующую по конфигурации поковке.

Исходным материалом для ГОШ служат прокатанные или прессованные прутки круглого, квадратного или прямоугольного сечения, а также периодический прокат. Штамповку можно вести непосредственно от прутка с последующим отделением его от штампованной части, однако чаще предварительно от прутка отрезают мерные куски. Штамповке подвергают чаще всего углеродистые или низколегированные стали, реже цветные металлы и сплавы. Основными достоинствами ГОШ являются:

1. Высокая производительность — до сотен поковок в час.
2. Меньшие припуски и допуски, чем при ковке. Это приводит к упрощению механической обработки и снижению ее трудоемкости. У деталей, полученных ГОШ, часто обрабатываются только сопрягаемые поверхности.
3. Квалификация штамповщика может быть существенно меньшей, чем кузнеца.

Вместе с тем следует знать, что для ГОШ требуются значительно большие усилия, чем при ковке однотипных деталей. Это связано с тем, что при штамповке течение металла затруднено трением о стенки ручья и тем, что деформации одновременно подвергаются большие объемы заготовки.

Кроме того, масса штампованных поковок ограничивается мощностью оборудования; обычно это до 100—200 кг.

Процесс штамповки выполняется в зависимости от вида поковки, рода материала и характера производства на установках различного вида. Наиболее широкое распространение получила штамповка на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах, ковочных или ротационно-

обжимных вальцах и другом оборудовании.
Молоты представляют собой машины динамического действия на обрабатываемый металл и чаще всего характеризуются массой падающих частей; в отдельных случаях им придается дополнительное ускорение давлением пара или воздуха (0,7—0,9 МН/м^2). К моменту ударного деформирования молоты накапливают кинетическую энергию где ***m*** — масса падающих частей, кг; *υ*— линейная скорость падающих частей в момент соприкосновения с деформируемым телом, м/с.

Для производства сравнительно мелких поковок пневматические молоты имеют массу падающих частей 100—1000 кг, для крупных — до 30 т. Молоты могут производить до 55 ударов/мин. Штампованные поковки на молотах производят массой до 1000 кг, при этом в каждом ручье штамповку выполняют за 2—4 удара.

20.3. Разновидности горячей объемной штамповки

Большое разнообразие форм и размеров штампованных заготовок и материалов, из которых они штампуются, обусловливает различные способы их получения в зависимости от типа штампов, способа установки в штампе, вида применяемого оборудования.

В зависимости от типа штампа ГОШ подразделяют на штамповку в открытых штампах, штамповку в закрытых штампах и в штампах для выдавливания.

Штамповка в открытых штампах характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования незамкнута (рис. 20.2).

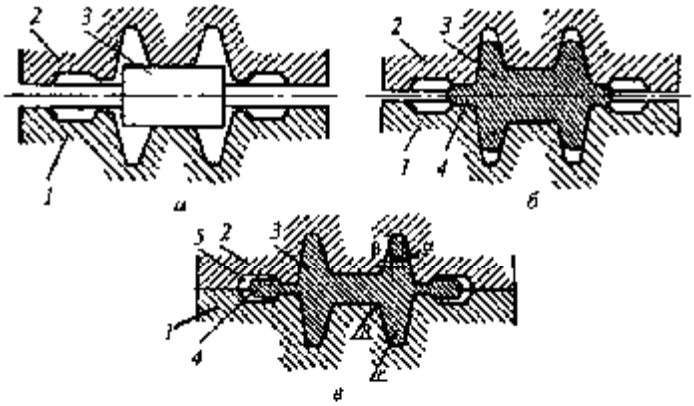

Рис. 20.2. Штамповка в открытых штампах:
а — начальная стадия; *б* — стадия образования заусенца; *в* — конечная стадия штамповки; *1—2* — нижняя и верхняя половины штампа; *3* — исходная заготовка; *4* — заусенец; *5* — заусенечная канавка

В течение всего процесса деформирования между верхним и нижним штампами существует переменный зазор, который постепенно уменьшается. В него выдавливается металл, образующий по периметру поковки заусенец (облой). Процесс деформирования исходной заготовки в открытом штампе можно представить

следующим образом. В начальный момент приложения силы часть металла вытекает из полости ручья в заусенечную канавку. Объем металла, находящийся в ручье штампа, таким образом, не постоянен; при большом зазоре между частями штампа металл сравнительно легко вытекает в заусенец, так как сопротивление течению металла здесь меньше, чем в трудно заполняемых углах полости штампа. При дальнейшем деформировании в результате сжатия заусенца, уменьшения его высоты и более интенсивного охлаждения, сопротивление течению металла в заусенечную канавку резко возрастает, полость штампа все более прочно «запирается». При возрастании усилия металл уже практически не течет в заусенец, а заполняет все углы штампа. Если в начальный момент деформирования схема напряженного состояния характеризовалась как всестороннее сжатие с большой степенью неравномерности сил по осям, то в конечный момент эта схема все более приближает до величины, необходимой для получения четко оформленной поковки. В последний момент происходит так называемая доштамповка — вытеснение избытка металла в заусенечную канавку, после чего обе половины штампа практически смыкаются.

Поковки простой конфигурации, не имеющие большой разницы поперечных сечений

по длине (высоте), обычно штампуют непосредственно из мерных прокатанных заготовок в штампах с одной полостью, т. е. в одно-ручьевых штампах. Поковки сложной конфигурации, требующие большого перераспределения металла заготовки, штамповать из заготовок постоянного профиля невозможно или нецелесообразно из-за недопустимо больших отходов в заусенец.

В этом случае необходимо применять предварительно профилированную или фасонную заготовку, т. е. заготовку приблизить к форме поковки прежде, чем производить окончательное формообразование в штамповочном ручье. Чаще всего фасонную заготовку получают в заготовительных ручьях многоручьевых штампов. При штамповке в каждом из ручьев форма заготовки постепенно приближается к форме поковки.

Чем сложнее поковка, тем больше требуется ручьев. Каждый ручей выполняет свою функцию (рис. 20.3).

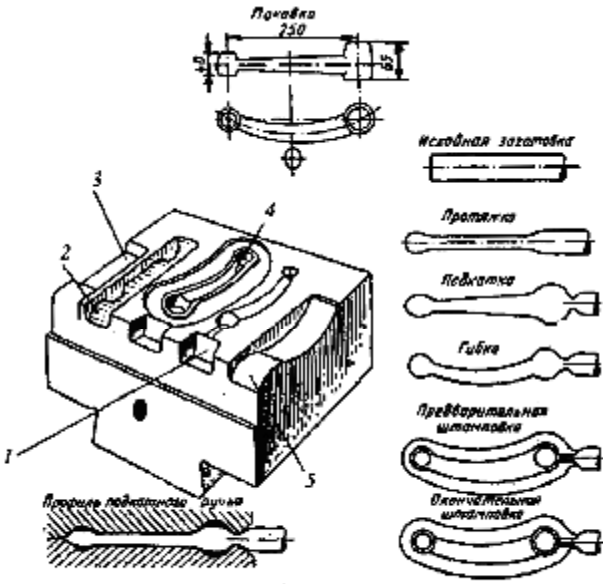

Рис. 20.3. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях:
1 — предварительный ручей; *2* — подкатной ручей; *3* — протяжной ручей; *4* – окончательный ручей; *5* — губочный ручей

Правильный выбор количества и функции каждого из ручьев имеет большое значение при разработке технологии штамповки. От этого зависят экономичность и производительность процесса.

Наивысшая производительность и максимальное снижение себестоимости поковок достигаются при применении в качестве фасонированных заготовок периодического проката и вальцованных заготовок.

В этом случае фасонную заготовку получают на специализированном оборудовании (прокатные стены, ковочные вальцы, машины для поперечно-клиновой вальцовки и т. д.), а штамповку (как правило, без дополнительного нагрева) осуществляют на штамповочном оборудовании в одноручьевых штампах.

В процессе штамповки полость штампа изнашивается, что приводит к увеличению в допустимых пределах объема поковок. Для компенсации этого увеличения предусматривается дополнительное количество металла в заготовке. Поскольку весь излишек металла выдавливается в заусенец, точность поковок, получаемых в открытых штампах, не зависит от точности исходных заготовок. Все поковки являются точными отпечатками полости штампа, а объем заусенца имеет переменную величину. Это позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности исходных заготовок по массе.

Штамповка в открытых штампах наиболее распространена в настоящее время и производится на различном оборудовании: молотах, механических прессах, гидравлических прессах и т. д. Этот способ применяют для получения практически всех типов поковок.

Штамповка в закрытых штампах. В отличие от открытой штамповки, характерной особенностью штамповки в закрытых штампах является то, что деформация заготовки осуществляется в закрытой полости штампа, весь объем металла, находящегося в

полости штампа, идет на формообразование поковки и ее формирование происходит без вытекания металла в заусенец.

Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа в процессе деформирования постоянный и очень небольшой (рис. 20.4).

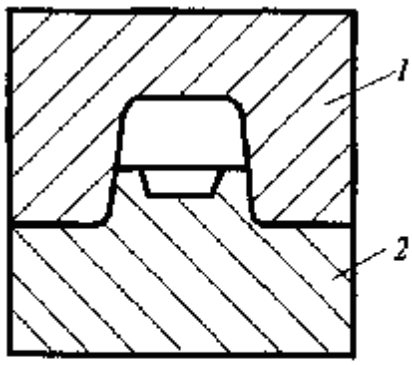

Рис. 20.4. Штамповка в закрытых штампах:
1, 2 — верхняя и нижняя части штампа

Он служит только для создания подвижности одной части штампа относительно другой и предохраняет штампы от заклинивания. Через него в конце штамповки металл может вытекать в торцевой заусенец, что указывает на избыток металла в заготовке и вызывает большие напряжения в полости и излишний ее износ.

При штамповке в закрытых штампах благоприятная схема неравномерного всестороннего сжатия возникает в самом начале процесса, что способствует лучшему проявлению пластических свойств металла. Это дает возможность штамповать малопластичные сплавы.

Объемная штамповка в закрытых штампах является прогрессивным технологическим способом штамповки и имеет ряд преимуществ перед штамповкой в открытых штампах. Из-за отсутствия заусенца экономится металл, ликвидируется потребность в прессах и штампах для обрезки заусенца, снижается трудоемкость и сокращается технологический цикл изготовления поковок. В настоящее время в автомобильном и тракторном производствах, отличающихся наиболее отработанной технологией, коэффициент использования металла составляет до 0,75—0,8. В закрытых штампах получают поковки более высокого качества, чем в открытых, за счет рационального распределения волокон металла, плавно обтекающих контур поковки, а также за счет более равномерной деформации металла.

Однако при штамповке в закрытых штампах требуются заготовки высокой точности, так как объем заготовки должен быть точно равен объему поковки. При недостаточном объеме заготовки поковки будут с неоформленными углами, а при завышенном объеме заготовок толщина поковок будет больше заданной чертежом. Получение же точных заготовок требует дополнительных затрат на их калибровку и на специальный инструмент для отрезки.

Срок службы закрытых штампов меньше, чем открытых, так как в них развиваются более высокие давления. Закрытые штампы часто выходят из строя из-за поломок, а не из-за стирания или смятия, как открытые штампы.

Штамповка выдавливанием характеризуется тем, что позволяет изготовлять поковки из малопластичных высокопрочных сталей и производить обработку с наименьшими отходами металла. В зависимости от направления течения металла различают штамповку прямым выдавливанием и штамповку прошивкой (обратное выдавливание). При прямом выдавливании течение металла происходит в направлении движения пуансона. При обратном выдавливании металл течет в направлении, обратном движению пуансона. На практике также применяют комбинированное выдавливание, при котором металл течет в прямом и обратном направлениях (рис.20.5, *а)*.

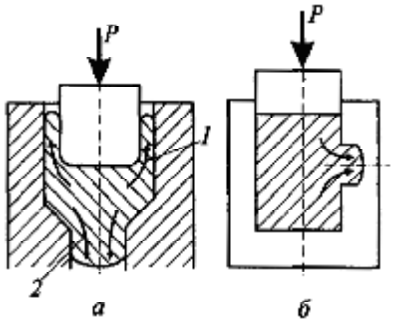

Рис. 20.5. Штамповка выдавливанием: *а* — комбинированная (7 — обратное, *2* — прямое выдавливание); *б* — в разъемных матрицах

Если деформации подвергают заготовку с предварительно прошитым отверстием, то получаемая поковка имеет вид полого стержня с прошитым утолщением. В этом случае также различают прямой и обратный процесс выдавливания.

Прямым выдавливанием изготовляют стержневые поковки, имеющие на одном конце утолщение (например, клапаны). Штамповкой прошивкой (обратное выдавливание) изготовляют поковки типа полых стаканов, гильз, различных втулок и т. д. Штамповка выдавливанием производится преимущественно на гидравлических прессах, кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Штамповка в штампах с разъемными матрицами (рис. 20.5, *б)* является дальнейшим развитием метода штамповки в закрытых штампах. Наличие дополнительного разъема дает возможность получить за один переход поковки очень сложной формы, например с выступами или отверстиями в боковых стенках, не выполнимыми при штамповке в цельной матрице. Применение разъемных матриц значительно увеличивает разнообразие форм поковок, допускающих штамповку в закрытых штампах без упрощения формы поковок назначением напусков.

Штампы с разъемными матрицами выполняются как с вертикальной, так и горизонтальной плоскостями разъема. При штамповке в разъемных матрицах необходимо применять приспособления, автоматизирующие зажим и разъем матриц. Еще более целесообразно применять специальные машины (прессы с несколькими ползунами, прессы двойного действия и т. п.). Наиболее распространенным видом штамповки в разъемных матрицах является штамповка на **горизонтально-ковочных машинах (ГКМ)**, механизм которых обеспечивает как рабочее движение пуансона, так и разъем матриц.

При штамповке на ГКМ в качестве заготовок используют круглый прокат либо трубы. Основная продукция ГКМ — стержни с утолщением на концах типа клапанов, втулок, колец и др. Штамп состоит из трех частей (рис. 20.6): неподвижной части матрицы *4*, закрепленной в станине машины *3*, подвижной части *6* и пуансона *1*. Штампуемый пруток *5* подается до упора *2* и зажимается матрицами, имеющими полости, при смыкании образующие калибр, конфигурация которого соответствует форме получаемой поковки.

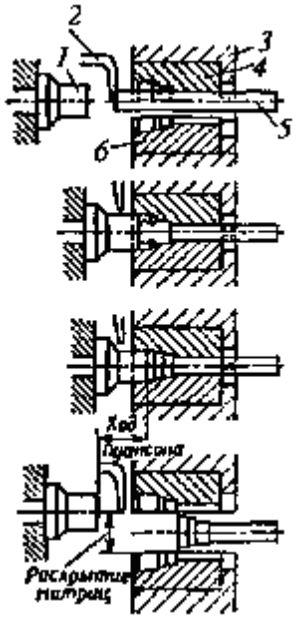

Рис. 20.6. Схема штамповки на горизонтально-ковочных машинах: *1* — пуансон; *2* — упор; *3* — станина; *4* — неподвижная матрица; *5* — заготовка; *6* — подвижная матрица

движении пуансона металл в матрице деформируется и заполняет полость матрицы. Благодаря разъему матрицы припуски и уклоны штамповки минимальны или вовсе отсутствуют. При обратном ходе машины пуансон и подвижная матрица возвращаются в исходное положение и поковка извлекается из ручья.

Штамповка на ГКМ может осуществляться в одном или нескольких ручьях, оси которых располагаются по вертикали одна над другой.

Преимущества штамповки на ГКМ перед штамповкой в неразъемных матрицах — более высокая производительность, возможность получения поковок без заусенцев, с минимальными припусками на обработку, получение поковок типа колец подшипников без отхода материала на образование отверстия, улучшение структуры металла.

20.4. Специализированные методы получения поковок

Использование машин узкого назначения вместо универсальных позволяет во многих случаях осуществить наиболее оптимальные способы штамповки с точки зрения гтооговодительности, отхода металла, количества переходов, качества поковок и т. п. Поэтому специализированные процессы штамповки получают все большее распространение.

Штамповка на **ковочных вальцах** представляет собой продольную прокатку нагретой заготовки между двумя валками, на которых закрепляются секторные штампы, имеющие соответствующие ручьи (рис. 20.7).

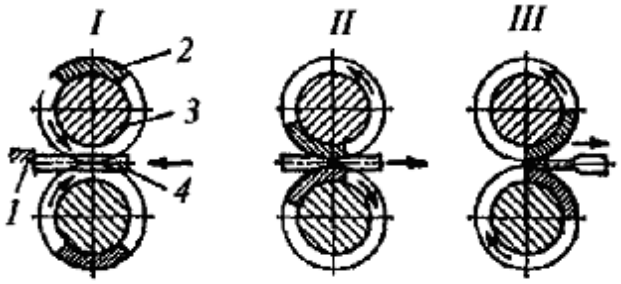

Рис. 20.7. Штамповка на ковочных вальцах: *1* — заготовка; *2* — секторные штампы; *3* — валки; *4* — поковка

Существенным преимуществом вальцовки, как и вообще прокатки, является то, что поверхность контакта заготовки с рабочими ручьями в каждый момент деформирования составляет малую часть полной поверхности заготовки. В результате этого требуется значительно меньшее усилие для деформации, чем при штамповке на прессах или молотах.

Технологический процесс штамповки на вальцах заключается в следующем: нагретая заготовка, сечение которой несколько больше максимального сечения поковки, пропускается между двумя валками. На их окружности закреплены сменные секторы-штампы, диаметры которых больше диаметра валка. Металл деформируется, течет вдоль и поперек ручья сектора-штампа, заполняет его, а излишек металла вытекает за пределы ручья, образуя облой. В дальнейшем облой обрезают. Процесс штамповки в вальцах осуществляется за один проход и может быть непрерывным при замкнутом расположении секторных штампов по всей окружности валков и при непрерывной подаче нагретой полосы. Это обеспечивает существенно более высокую производительность процесса по сравнению со штамповкой на молотах или прессах. Кроме того, ковочные вальцы относительно просты по конструкции, бесшумны в работе, их можно использовать в механизированных поточных линиях, что обусловило широкое применение этого процесса в кузнечно-штамповочных цехах.

Сущность процесса высокоскоростной штамповки заключается в том, что деформация металла в штампе протекает в условиях приложения мощного импульса энергии в небольшой промежуток времени. Это создается путем применения в рабочем цилиндре газов или жидкости высокого давления и сокращения пути перемещения рабочих частей штампов до момента их соударения.

При высокоскоростной штамповке пластичность металла увеличивается, что объясняется высокой скоростью деформации и поэтому небольшими тепловыми потерями нагретой заготовки из-за относительно небольшого времени контакта ее с рабочей частью штампа. Незначительные потери теплоты в процессе деформации металла, способствующие сохранению пластичности, позволяют изготовлять поковки из углеродистых, легированных, жаропрочных и труднодеформируемых сталей. При этом способе штамповки теплота, выделенная в результате пластической деформации, не рассеивается в штамповом пространстве, а повышает температуру

заготовки.

Поскольку при штамповке возможно выделение большого количества теплоты, то возникает опасность перегрева металла, особенно в тонких сечениях поковки. Поэтому, как правило, нагрев заготовок производится на 80— 150 °С ниже, чем при обычных способах штамповки. При этом способ нагре ва должен обеспечивать минимальное окалинообразование, поскольку при высокоскоростной штамповке окалина может глубоко вдавливаться в поковку.

Возможность штамповки некоторых высоколегированных сталей и сплавов на основе цветных металлов (например, жаропрочные стали, титановые сплавы и др.) существенно ограничивается из-за высокого сопротивления деформированию, низкой пластичности и узкого температурного интервала обработки давлением. Дня получения поковок из подобных материалов часто применяют изотермическую штамповку. При этом способе горячее деформирование заготовки осуществляется в изотермических условиях, когда штампы и окружающее их рабочее пространство нагреты до температуры, близкой к температуре деформации сплава. Например, при штамповке в штампах из жаропрочного сплава ЖС6-К температура нагрева инструмента и рабочей зоны составляет до 900 °С. Нагрев обеспечивается индукторами, встроенными в рабочем пространстве пресса.

Изотермическая штамповка значительно повышает пластичность деформируемого сплава и снижает сопротивление деформированию. Изотермическая штамповка осуществляется в основном на прессах при небольших скоростях деформации, чтобы обеспечить наиболее полное протекание разу-прочняющих процессов во время деформирования.

20.5. Исходные материалы и резка заготовок для машиностроительных поковок

В качестве заготовок для ГОШ в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного и прямоугольного профилей.

Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: резкой на пресс-ножницах и кривошипных прессах, ломкой в хладноломах, резкой пилами и абразивами и др.

Отрезка на пресс-ножницах является основным способом резки прутков диаметром от 15 до 300 мм из стали. Ломку на штампах-хладноломах применяют для разделки стальных прутков из крупных профилей диаметром 100—150 мм, в особенности из легированной стали. Обычно на ломаемом прутке газовой резкой делают надрез глубиной 10—15 мм. Пруток устанавливают на нож таким образом, чтобы надрез находился прямо против ножа. При нажатии вследствие высокой концентрации напряжений в месте надреза появляется трещина и происходит хрупкий излом.

Резку на пилах преимущественно применяют для разделки прутков из цветных металлов и сплавов, которые нельзя резать на пресс-ножницах вследствие получающегося большего смятия и трещин, а также для разделки прутков из высокоуглеродистых или легированных сталей и для крупных

профилей проката из конструкционных сталей. Резку абразивами используют при разделке высоколегированных хрупких сталей и сплавов.

Точность отрезаемой длины зависит от способа резки и колеблется от 0,2 до 8 мм. Так, при резке на хладноломе отклонение равно 3—8 мм, на пресс-ножницах 3—5 мм. Из этого следует, что получение заготовок для закрытой ГОШ этими способами неприемлемо.

Хорошее качество и параллельность торцов заготовки обеспечиваются при резке на пилах, анодно-механических или электроискровых станках. Однако эти способы резки заготовок малопроизводительны по сравнению с производительностью штамповочных механизмов.

20.6. Отделочные операции после ГОШ

Операции, которые производят с поковкой после ее штамповки, называют *отделочными*.

Обрезка заусенца и пробивка пленок. Все поковки, штампуемые в открытых штампах, имеют заусенец в полости разъема, а в поковках с внутренними отверстиями остаются пленки между наметками.

Обрезку заусенцев и пробивку отверстий выполняют на обрезных кривошипных прессах в холодном или нагретом состоянии. В последнем случае операции обрезки и пробивки выполняются сразу после штамповки.

Правка штампованных поковок производится с целью устранения искривлений осей и искажения поперечных сечений, получающихся при извлечении поковок из штампа, после обрезки заусенца и термической обработки. Правка производится в холодном или горячем состоянии в штампах, ручьи которых соответствуют конфигурации холодной или горячей поковки.

Термическая обработка поковок в значительной мере определяет механические свойства изделий и влияет на последующую механическую обработку резанием. Производится для выравнивания неоднородности величины зерна, измельчения зерен, снятия остаточных напряжений, повышения пластичности и вязкости, снижения твердости поковок. Наиболее часто применяют нормализацию и отжиг поковок.

Очистка поковок от окалины производится для облегчения условий работы режущего инструмента при последующей механической обработке, а также для облегчения контроля поверхности поковок.

При очистке поковок во вращающихся галтовочных барабанах поковки, загруженные в барабан со стальными звездочками, трутся и ударяются друг о друга и о звездочки. Этим способом очищают поковки простой формы и небольшой массы (до 6 кг). При дробеструйной очистке дробь размером 1—3 мм с большой скоростью сжатым воздухом подается на поковки большой массы (более б кг).

Очистка травлением в водных растворах кислот (5—18%-ная H_2S0_4 или НС1), нагретых до 40—60 °С, применяется для крупных и сложных поковок.

Калибровка поковок производится с целью повышения точности размеров всей поковки (объемная калибровка) или ее отдельных участков (плоскостная или чеканка). Плоскостная калибровка производится в холодном состоянии на специальных кривошипно-рычажных прессах с небольшой степенью деформации (5—10%). Точность вертикальных размеров на калиброванных участках получается в пределах от 0,1 до 0,25 мм.

Объемная калибровка производится как в холодном, так и горячем состоянии в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

20.7. Основные этапы технологического процесса горячей объемной штамповки

При разработке технологического процесса объемной штамповки отправным пунктом является проектирование чертежа поковки, который составляют на основании чертежа детали. От правильной разработки чертежа поковки зависит сложность, а иногда и возможность ее изготовления. Принята такая последовательность:

1) выбор плоскости разъема;
2) назначение припусков, допусков и напусков;
3) определение штамповочных уклонов;
4) определение радиусов закругления;
5) в поковках с отверстиями конструируют наметку под прошивку;
6) конструирование штампов с учетом расположения волокон в поковке, приемов и удобств штамповки, расположения баз последующей механической обработки и т. д.

Поверхностью разъема называется поверхность, по которой штампы соприкасаются между собой. При открытой штамповке поверхность разъема выбирают в виде плоскости или сочетания плоскостей так, чтобы поковка свободно вынималась из штампа. Желательно, чтобы плоскость разъема совпадала с двумя наибольшими габаритными размерами детали. Тогда третий наименьший габаритный размер будет высотой детали. При этом полость штампа будет иметь наименьшую глубину и наибольшую ширину и длину, что обеспечивает его прочность, легкость изготовления и легкий выем поковки. Для возможности контроля сдвига между верхним и нижним штампами необходимо, чтобы плоскость разъема пересекала вертикальную поверхность поковки.

Установление припусков, допусков и напусков необходимо, так как штамповкой нельзя получить абсолютно точные поковки. Припуски включают дефективный слой металла, вмятины от окалины, искривление поковки, обезуглероженный слой и т. д. Этот дефектный слой удаляется при механической обработке.

Допуски учитывают недоштамповку поковки по высоте, износ ручья штампов, возможный сдвиг штампов и другие факторы.

Припуски и допуски при объемной штамповке назначают по ГОСТу. Величины их зависят от габаритов и массы поковки, от вида оборудования, требуемой шероховатости поверхности.

Иногда для упрощения формы поковки и технологии ее изготовления на поковку назначают напуски. В частности, устанавливают напуск на отверстия при диаметре менее 30 мм, так как стойкость выступов штампа для получения выемки в поковке диаметром

менее 30 мм будет очень мала. К технологическим напускам относятся также штамповочные уклоны, шпоночные канавки и др.

Штамповочные уклоны необходимы для облегчения заполнения полости штампа металлом и извлечения из нее поковки. Штамповочные уклоны устанавливаются сверх припуска и назначаются на все вертикальные поверхности поковки, перпендикулярные плоскости разъема. Различают наружные и внутренние штамповочные уклоны. Наружные штамповочные уклоны в большинстве случаев составляют 5—7°, внутренние 7—10°. Их величина зависит от отношения глубины полости к ее ширине, материала поковки, смазки штампов, наличия выталкивателей и других факторов.

Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам, которые необходимы для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременной поломки, уменьшения концентрации напряжений в штампе. Радиусы закруглений выбирают по таблицам в зависимости от отношения глубины прилегающей полости к ее ширине. Внутренние радиусы примерно в три раза больше соответствующих наружных.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке. Поэтому для экономии металла и облегчения последующей прошивки в поковке делают наметку с перемычкой — пленкой небольшой толщины. Обычно толщина пленки составляет 0,1 диаметра отверстия, но не менее 4 мм.

Определив все размеры спроектированной поковки с учетом температурной усадки, получают чертеж горячей поковки, по которому изготовляется полость штампа. Чертеж поковки при штамповке в закрытых штампах составляется по тем же принципам, но имеются некоторые особенности. Плоскость разъема обычно выбирают по верхней или нижней торцевой поверхности детали в той части, которая имеет наибольшую площадь поперечного сечения и вертикальные прилегающие к ней стенки (см. рис. .20.4). При штамповке на молоте более целесообразно выбирать нижнюю торцевую поверхность, с тем чтобы поковка оставалась на выступе нижнего штампа и ее

легко можно было удалить после штамповки. Штамповочные уклоны целесообразно выбирать несколько уменьшенными по сравнению с обычной штамповкой. Наружные радиусы закруглений выбирают в зависимости от глубины прилегающей полости, но не менее 1,5 мм; внутренние обычно в 2,5—3 раза больше, чем наружные.

При штамповке в разъемных матрицах наличие двух плоскостей разъема позволяет не предусматривать напусков там, где потребовалось бы делать их в штампах с одной плоскостью разъема. Штамповочные уклоны назначают значительно меньше (0,5—1,5) или совсем не предусматривают.

20.8. Технологические особенности ковки и штамповки цветных высоколегированных и труднодеформируемых металлов и сплавов

Из цветных металлов в машиностроении наибольшее применение нашли алюминиевые, магниевые и медные сплавы. Большинство этих сплавов имеет небольшие температурные интервалы обработки давлением. Поэтому их нагревают преимущественно в электропечах, позволяющих более точно выдерживать режим нагрева.

Большинство сплавов цветных металлов плохо деформируются при высоких скоростях (на молотах), так как процессы разупрочнения у них протекают медленно. Поэтому, например, медные и почти все магниевые сплавы обрабатывают только на гидравлических прессах.

Отличительной особенностью высоколегированных и труднодеформируемых сплавов (в частности, жаропрочных) являются весьма узкий температурный интервал ковки (100—200 °С вместо обычных 300—500 °С) и высокая температура рекристаллизации, которая протекает очень медленно. Эти сплавы имеют низкую теплопроводность, что вызывает большие тепловые напряжения, которые становятся опасными даже в результате охлаждающего действия инструмента.

В связи с отмеченными особенностями ковку малопластичных и труднодеформируемых сплавов осуществляют при тщательном соблюдении механических и тепловых режимов. Для улучшения условий ковки (в частности, для уменьшения неравномерности деформации) применяют смазку инструмента или обмазку слитков специальными покрытиями, уменьшающими теплоотдачу от металла,

снижающими контактные силы трения. Применяют высокий подогрев бойков до 500—600 °С вместо 250—350 °С. Ковку целесообразнее проводить на гидравлических прессах, так как ввиду малой скорости деформирования на прессах разупрочняющие процессы (возврат и рекристаллизация) успевают произойти полнее и упрочнение снимается. Для снижения растягивающих напряжений протяжку высоколегированных сталей целесообразно выполнять в подогретых бойках. Осадку в ряде случаев производят на подкладках из высокопластической стали.

20.9. Холодная объемная штамповка

Обычно под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки. Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс деформирования соответствует условиям холодной деформации.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения качественных заготовок в машиностроительной, приборостроительной, электротехнической и других отраслях промышленности. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности заготовок при небольших отходах металла, а также малую трудоемкость и себестоимость изготовления. Производительность холодной штамповки в 2—3 раза выше, чем горячей, и в 10—15 раз выше по сравнению с обработкой резанием.

Возможность осуществления процессов холодной штамповки и качество готовых изделий во многом определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов. Заготовки обычно смазывают для снижения усилий штамповки, повышения стойкости инструмента, обеспечения качества поверхности и предотвращения образования трещин и других дефектов деталей.

В процессе холодной штамповки непрерывно меняется не только форма, но и структура металла и его физико-механические характеристики. Возникающий при этом наклеп металла в некоторых случаях ограничивает возможности формообразования, поэтому процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов с постепенным приближением к окончательной форме и размерам готовых деталей и с промежуточным отжигом для восстановления пластических свойств металла.

Холодная объемная штамповка — высокоэффективный экономичный способ изготовления деталей, чаще всего тел вращения. Полученные детали, как правило, не требуют дальнейшей механической обработки и имеют высокие прочностные свойства.

Холодной объемной штамповкой обрабатываются сплавы, обладающие в холодном состоянии необходимой пластичностью. Поскольку сопротивление деформированию сплавов в холодном состоянии высокое, то этим видом штамповки изготавливают стальные детали диаметром до 70—80 мм, детали из медных и алюминиевых сплавов до 150—200 мм при толщине стенок деталей от 0,1 до 15 мм и длине до 1500 мм.

Объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодно-штамповочных автоматах. Ее основными разновидностями являются выдавливание, высадка и объемная формовка.

Заготовками для выдавливания служат горячекатаные прутки нормальной точности. Иногда заготовки вырубают из листа. В этом случае требуется хорошее качество среза и устранение наклепа отжигом краев заготовки после вырубки, чтобы предотвратить разрывы кромок при выдавливании.

Выдавливанием получают детали преимущественно цилиндрической или близкой к ней формы, например корпуса автомобильных свечей зажигания, конденсаторных батарей, генераторов и т. п. Точность размеров и шероховатость поверхностей деталей соответствуют получаемым при обработке резанием.

При выдавливании металл деформируется в условиях неравномерного всестороннего сжатия и поэтому обладает повышенной пластичностью. Тепловой эффект при больших скоростях деформаций может повысить пластичность металла и снижать его сопротивление деформированию.

Для выдавливания требуются большие удельные усилия, так как в холодном состоянии металл обладает высоким сопротивлением деформированию (для алюминиевых сплавов 500—1200 МПа, для сталей 2000—3000 МПа). Стойкость пуансона и матриц для выдавливания обеспечивается применением для каждого типа металла оптимальных покрытий поверхности

заготовок и смазок.

Высадка — это осадка части заготовки, т. е. образование местных утолщений требуемой формы, например головки болтов, винтов и заклепок. Можно высаживать утолщения, концентричные и эксцентричные относительно оси стержня как на концевых, так и на средних участках заготовок. Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка диаметром 0,5—50 мм из черных и цветных металлов. Высадкой изготовляют стандартные и специальные крепежные детали, а также колеса, детали массового производства, например кулачки и зубчатые колеса заодно с валом и т. п. При высадке за один удар отношение длины высаживаемой части заготовки к ее диаметру должно быть не более 2,5—2,8. Высадку выполняют на холодновысадочных автоматах различных конструкций. Производительность автоматов достигает 400 деталей в минуту.

Холодная формовка — это формообразование деталей вследствие заполнения металлом полости штампа. Производится в открытых штампах с вытеканием излишка металла в специальную полость с образованием заусенца и в закрытых штампах без образования заусенца. Конструкции штампов, применяемых для холодной формовки, подобны штампам, используемым при горячей объемной штамповке.

Холодной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Детали обычно получают за несколько проходов, последовательно изменяющих форму заготовки, с промежуточным отжигом для снятия наклепа. При необходимости дальнейшей обработки резанием на заготовках предусматривают припуск для шлифования до 0,4 мм или для полирования до 0,05 мм.

Кроме прессов для холодной формовки применяют высокопроизводительные многопозиционные автоматы с большими технологическими возможностями.

Холодной объемной штамповкой получают готовые детали или близкие к ним заготовки, требующие минимальной обработки резанием. При холодной штамповке коэффициент использования металла достигает 95% вместо 30—40% при обработке резанием. Трудоемкость изготовления болтов на холодновыса-дочных автоматах в 200—400 раз меньше, чем на токарно-револьверных станках. При этом следует отметить, что при холодном деформировании формируется благоприятно ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках.

Холодной объемной штамповкой получают детали из большой номенклатуры сталей и сплавов цветных металлов, детали симметричные и асимметричные, со шлицами, канавками, ступенчатыми полостями и других сложных форм. Масса деталей, штампуемых на автоматах, достигает 3,5 кг, а на прессах — 40 кг, диаметр поковок — до 200 мм.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные операции ковки.
2. Чем отличается горячая объемная штамповка (ГОШ) от ковки?
3. В каких случаях при ГОШ необходимо применять многоручьевые штампы?
4. Какую роль выполняет заусенец при штамповке в открытых штампах?
5. Почему при штамповке в закрытых штампах необходимо иметь заготовки большей точности по размерам?
6. Какие разновидности ГОШ вы знаете?
7. Назовите отделочные операции ГОШ.
8. Для деталей какого вида и из каких материалов применяется холодная объемная штамповка?