

Введение.

К категории процессов, объединяемых под общим наименованием *обработки давлением*, относятся - штамповка в холодном и горячем состоянии, прессование, волочение, прокатка, накатки и другие. Сущность этих процессов заключается в том, что металл в холодном или горячем состоянии изменяет свою форму под действием давления, которое больше сил сцепления молекул металла.

Многие металлы в холодном состоянии обладают большими силами сцепления и для преодоления их приходится прилагать большие усилия. Уменьшить силы сцепления молекул возможно, если подлежащие обработке заготовки нагреть. Обработку металла давлением производят при температурах, при которых металл становится пластичным и неспособным к рекристаллизации. Независимо от характера процесса обработки давлением необходимо учитывать следующие общие положения:

1. Чтобы начался процесс изменения формы, необходимо воздействовать инструментом на заготовку с усилием, большим, чем сила сцепления частиц металла в данном состоянии.

2. Объем металла в продолжение всего процесса деформации практически постоянным. Величину деформации принято выражать *степенью деформации*. Наибольшие допустимые степени деформации за одно обжатие или переход для разных процессов обработки давлением и разных металлов различны и будут приведены при рассмотрении конкретных процессов. Пластическое деформирование металла сопровождается изменением его физико-механических свойств.

3. Деформация металла всегда сопровождается потерями энергии: внешними и внутренними. Поэтому практически усилие оборудования всегда должно быть больше теоретического усилия деформации при идеальных условиях. Потери энергии на преодоление сил трения на поверхности контакта инструмента и металла при обработке давлением могут достигать 30-50% и более. Силы внешнего трения при обработке давлением существенно изменяют условия процесса деформирования.

4. При обработке давлением металл течет по путям наименьших сопротивлений.

5. Режим обработки давлением определяется схемой приложения деформирующих усилий, требуемой величиной деформации металла, температурой, при которой, при которой осуществляется процесс обработки, и скоростью деформирования. Скоростью деформации называется изменение размеров деформирующего металла в единицу времени.

6. При пластической деформации механическая энергия деформирования в значительной мере превращается в тепловую и металл нагревается.

7. Если деформирование осуществляется без предварительного нагрева, в металле возникают остаточные внутренние напряжения, отдельные кристаллиты повреждаются и частично разрушаются, а металл приобретает наклеп. Наклеп затрудняет пластическое деформирование и возрастает с увеличением степени деформации. Достигнув определенной стадии наклепа, металл, несмотря на дальнейшее увеличение деформирующих усилий, перестает пластически деформироваться и начинает разрушаться.

Влияние скорости деформации на сопротивление металла деформированию при температурах выше и ниже рекристаллизации различно. При холодной обработке давлением упрочнение металла не сопровождается рекристаллизацией, поэтому сопротивление металла деформированию с увеличением скорости деформирования. При горячей обработке давлением и больших скоростях деформации процесс упрочнения может происходить быстрее процесса рекристаллизации.

Холодная штамповка.

Разнообразные операции холодной штамповки по характеру деформации объединяют

две группы: разделительные и формоизменяющие. К разделительным относятся операции, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части материала от другой

по замкнутому или незамкнутому контуру, а к формоизменяющим - операции, в результате которых происходит изменение формы и размеров заготовки, перераспределение и заданное перемещение объема металла.

Раскрой материала.

Под «раскром материала» следует понимать способ расположения штампуемых заготовок в полосе, ленте, листе. Существует три типа раскроя: с отходами по всему контуру вырубаемой детали; с частичными отходами по краям и торцам полосы; без отходов.

Раскрой с отходами применяют для получения простых по форме деталей повышенной точности, а также сложной формы; раскрой с частичными отходами и без отходов применяют для простых по форме деталей низкой точности.

Показателем, характеризующим раскрой, является коэффициент использования материала n , рассчитываемый по формуле:

$$n = (N \cdot F / B \cdot L) \cdot 100\%,$$

где N - число деталей, штампуемых из листа, полосы, ленты;

F - площадь деталей в мм²;

B и L - ширина и длина ленты, полосы, листа в мм.

Разделительные операции.

К разделительным операциям относятся - отрезка, вырезка, пробивка, нарезка, обрезка, зачистка.

Отрезка - отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах.

Вырубка и пробивка. Процесс вырубки и пробивки состоит из трех частей:

1. Стадии упругих деформаций.

2. Стадии пластических деформаций.

3. Стадии скалывания.

Точность и качество поверхности среза при вырубке и пробивке зависят от конфигурации, размеров вырубленной детали или пробиваемого отверстия, толщины штампуемого материала; расположение детали относительно направления прокатки, точности изготовления штампа и жесткости прессы. Точность расстояния между отверстиями составляет 0,05 мм и более.

Нарезку, то есть отдельные части материала по незамкнутому контуру без удаления излишков материала после операций объемной штамповки. Обрезку производят в штампах и на специальных станках дисковыми ножами.

Обрезку применяют для удаления неровных краев у полых деталей после вытяжки, формовки, отбортовки, выдавливания, а также для удаления излишков материала после операции объемной штамповки. Обрезку производят в штампах и на специальных станках дисковыми ножницами.

Чистовая вырубка и пробивка.

Поверхность среза при вырубке и пробивке в обычных штампах имеет значительную шероховатость и, кроме того, в поперечном сечении вырубленная деталь или пробитое отверстие искажаются. Исключить эти недостатки можно, если вместо обычной вырубки проводить чистовую вырубку и пробивку.

Чистовую вырубку производят следующими способами:

1) На штампах с зазорами между пуансоном и матрицей 0,01-0,02 мм и с закругленными режущими кромками у матрицы радиусом $R = 0,3-0,5$ мм. ЗС

Этот способ применяют при изготовлении деталей из мягкой стали, алюминиевых сплавов и латуни. Усилие чистовой вырубки рассчитывают по формуле:

$$P_{чв} = kLSq_{\sigma},$$

где $k = 1,1-1,2$;

2) На штампах с пуансоном, поперечное сечение которого больше матрицы на $(0,1-0,2)S$.

Пуансон в крайнем нижнем положении не доходит до плоскости матрицы на $0,1-0,2$ мм. Усилие в этом случае рассчитывают по формуле:

$$P_{nm} = PC = LSqC,$$

где C - коэффициент (для мягкой стали и латуни $C=2,25-2,8$ и для алюминия $C=1,3-1,6$).

Этот способ чаще всего используют для изготовления деталей из мягкой стали.

3) На штампах с высоким удельным давлением прижима материала в зоне деформации и прижимом выталкивателем или прижимом, снабженным кольцевым ребром,

Штампы с прижимом выталкивателем применяют для изготовления деталей толщиной до 4 мм, а штампы с кольцевым ребром для деталей толщиной более 4 мм.

При чистовой вырубке на штампах с кольцевым ребром ширина перемычек у полосы принимается в 2,3-2,5 раза больше, чем при обычной вырубке.

Усилие прижима рассчитывают по формуле:

$$P_n = K_{nl} h l,$$

где $h l$ - глубина проникновения кольцевого ребра прижима в материал в мм $(0,5 \text{ мм})$;

l - периметр кольцевого ребра в мм;

K_{nl} - удельное давление прижима в кГ/мм^2 (для алюминия составляет 0,5, для латуни - 1,8, для стали 45-2,5, для стали X18H9T-3).

Зачистка и калибровка.

Зачистку по наружному контуру снятием припуска применяют для деталей с периметром до 300 мм, толщиной до 10 мм в случаях, когда требуется повышенный класс чистоты поверхности среза, когда контур детали является базой для дальнейшей обработки и требуется повышенная точность наружного контура.

Зачистка со снятием припуска заключается в снятии тонкого слоя по контуру.

Штампы для зачистки подобны вырубным, но их изготавливают всегда с направляющими колонами. Если размеры зачищаемой детали малы, а толщина детали более 1,0-1,5 мм, применяют штампы, работающие «на провал», во всех остальных случаях - штампы с прижимом зачищаемой детали.

Зачистку обжатием в матрице с заваленными кромками применяют для стальных деталей. Припуск на зачистку обжатием составляет не более 0,04-0,06 мм на сторону.

Стальные детали, поступающие на зачистку обжатием рассчитывают по формуле:

$$P = Lqcpk,$$

где k - коэффициент (для стали $k=2,4-2,6$, для алюминия $k=4,6-5$).

Зачистку обжатием в матрице с заваленными кромками применяют для стальных деталей. Припуск на зачистку обжатием составляет не более 0,04-0,06 мм на сторону. Стальные детали, поступающие на зачистку обжатием, фосфатируют или омедняют. Усилие для зачистки обжатием рассчитывают по формуле:

$$P = Lqcpk,$$

где k - коэффициент (для стали $k=2,4-2,6$, для алюминия $k=4,6-5$).

Калибровку отверстий снятием припуска производят после сверления или пробивки. Припуск для калибровки малых отверстий составляет 0,15-0,2 мм на диаметр, а для средних - такой же, как и при зачистке наружного контура. Калибровку осуществляют как отдельно взятых отверстий, так и группы отверстий одновременно. При одновременной калибровке группы отверстий точность межосевых размеров повышается.

Размеры матриц и пуансонов штампов для зачистки и калибровки снятием припуска рассчитывают по формулам:

А. Зачистка наружного контура:

$$dm = d + z + y; \quad dn = d + y.$$

Б. Калибровка отверстий:

$$dm = d - y; \quad dn = d - (z + y),$$

где dm, dn - исполнительные размеры пуансонов и матриц зачистного или калибровочного;

Z - технологический зазор при вырубке или пробивке;

y - припуск на зачистку или калибровку;

d - окончательный размер зачищаемого.

Гибка.

Гибку производят в штампах на кривошипных, эксцентриковых, фрикционных прессах; на специальных ручных и механизированных устройствах для гибки и на специальных гибочных станках.

Высота H прямой части отгибаемых стенок (полок) детали должна быть больше двойной толщины полка, т.е. $H - r$ больше или равно $2S$ (при условии, что S меньше 5 мм). Если это условие не выполнено, т.е. деталь имеет меньшую высоту полка, необходимо в заготовке, поступающей на гибку, предварительно выдавливать канавки или изготавливать деталь с удлиненными полками и фрезеровать их после гибки.

Весьма важным параметром, определяющим содержание и продолжительность процесса изготовления детали, конструкцию штампов, является внутренний радиус гибки на детали. Минимальный допустимый радиус r гибки должен соответствовать пластичности металла и не допускать образования трещин, он зависит от механических свойств материала детали; угла гибки; направления линии гибки относительно направления прокатки; состояния кромок изгибаемой заготовки (наличия заусенцев по кромке заготовки и их расположения при гибки).

Каждый из приведенных факторов оказывает следующее влияние:

а) радиус гибки тем больше, чем меньше удлинение металла;

б) с уменьшением угла гибки особенно у металлов с малым относительным удлинением величина радиуса r должна быть увеличена;

в) наименьшее значение при всех прочих равных условиях радиус гибки r имеет для случая, когда линия гибки расположена поперек направления прокатки; при расположении линии гибки под углом 45 градусов или по направлению прокатки радиус гибки должен быть увеличен в 1,5-2 раза;

г) наличие не зачищенных заусенцев на кромке заготовки, расположенных на наружной поверхности изгиба, требует увеличение радиуса гибки в 1,2-1,5 раза.

Точность при гибке в штампах зависит от ряда факторов: формы и размеров детали, однородности механических свойств и толщины заготовки, числа операций, наличия калибровочной операции после гибки, способа фиксации заготовки, точности изготовления штампа и других факторов.

Вытяжка - процесс превращения плоской или полый заготовки в полую деталь любой формы. Вытяжку производят в штампах на эксцентриковых прессах, кривошипных прессах простого действия или кривошипных прессах двойного действия. Трудоемкость процесса вытяжки зависит от соотношения размеров, характеризующих поперечное сечение и высоту деталей; радиусов сопряжения дна, стенок и фланца; конфигурации фланца и материала. Форма детали должна быть простой. При высоких полых деталях с фланцем следует избегать широких фланцев. Наименьший диаметр фланца

$$D_{\text{ф min}} = d + 2r_{\text{м}} + (4 - 5) S$$

Угол наклона α меньше 3 градусов облегчает удаление детали из штампа. Углы же α более 3 градусов нежелательны, так как вытяжка таких деталей требует значительного увеличения числа операций.

Вытяжка без утонения стенок (прямая) в инструментальных штампах. При прямой вытяжке из плоской заготовки цилиндрической полый детали пуансон втягивает заготовку в

матрицу, в результате чего наружный диаметр заготовки непрерывно уменьшается. Во фланце заготовки возникают нормальные напряжения, действующие в радикальном направлении, в котором заготовка растягивается, и нормальные напряжения, действующие в окружном направлении, в котором заготовка сжимается.

Обратную вытяжку применяют для получения средних по размеру цилиндрических полых деталей с двойной стенкой, для объединения двух операций вытяжки в одну, причем вторая вытяжка происходит в направлении, обратном первой, и сопровождается выворачиванием заготовки для подготовки к вытяжке ступенчатого полого колпачка. Обратную вытяжку применяют также при изготовлении тонкостенных деталей сферической и параболической формы, когда требуется создать большой радиальный натяг материала.

Вытяжка с утонением происходит следующим образом. В матрицу закладывают заготовку, имеющую вид колпачка. Пуансон заходит в колпачок с небольшим зазором и проталкивает его через одну, иногда две, расположенные друг над другом матрицы. Так как диаметр рабочей части матриц меньше наружного диаметра заготовки, а зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины ее стенок, то при вытяжке изменяется сечение вытягиваемой детали (т.е. уменьшаются и диаметр, и толщина стенки колпачка) и одновременно увеличивается ее длина. Непосредственно за матрицами устанавливают съемник. При обратном ходе пуансона вытянутая деталь опирается на нижнюю кромку съемника и снимается с пуансона.

Существуют два метода расчета усилий вытяжки: теоретический и практический. Первый метод основан на законах механики пластически деформируемых тел и на определении действительных напряжений в данный момент вытяжки. Второй метод, которым пользуются для целей подбора оборудования, исходит из положения, что напряжение в опасном сечении вытягиваемой детали должны быть меньше разрушающих, а следовательно, наибольшее усилие предельно возможной вытяжки должно быть несколько меньше усилия, необходимого для разрыва боковых стенок вытягиваемой детали около дна (в опасном сечении).

Исходя из этого положения усилие вытяжки в общем виде можно рассчитать по формуле

$$P < 1,1LSq_v,$$

где L - периметр отверстия в вытяжной матрице в мм.

Зная величину усилия вытяжки, можно подобрать пресс.

Листовая формовка - группа операций, характеризующая местными изменениями формы заготовки или полуфабриката без преднамеренного изменения толщины. К таким операциям относятся рельефная формовка, разбортовка, формовка растяжением, обжим, правка.

Рельефная формовка - процесс получения местных выступов или углублений за счет растяжения материала заготовки. Примерами рельефной формовки являются: формовка ребер жесткости, пуклевка.

Рельефную формовку обычно осуществляют за одну операцию, исключение составляет пуклевка прямоугольного и трапецидального сечения, изготавливаемая обычно в две, а иногда и более операции.

Усилие для рельефной формовки рассчитывают по формуле

$$P=LSq_v,$$

где L - длина периметра формируемого выступа или углубления.

Формовка растяжением - процесс расширения полых деталей или трубчатых заготовок за счет растяжения материала заготовки внутренним давлением. Формовку осуществляют упругим пуансоном (пуансоном из резины, упругой пластмассы, резиновым мешком с наполненным жидкостью) в разъемной матрице или жестким секционным пуансоном без матрицы.

Обжим - процесс сужения открытой части цилиндрических деталей. Полые детали малой высоты обжимают в штампах на прессах, а детали значительной длины - на ротационно-обжимных машинах (редуцирование).

Число обжимных операций рассчитывают по допустимому коэффициенту обжатия по формуле

$$n = \frac{\lg m_0}{\lg m_{ср}} \cdot \frac{d_n}{d_0}$$

где m_0 - общий коэффициент обжима, $m_{ср}$ - средний коэффициент обжима на каждой операции,

d_n - диаметр заготовки после n-й операции, d_0 - диаметр заготовки до операции.

Правку производят с целью обеспечения заданной плоскости детали. Правку производят после вырубki «на провал» и вырубki с пробивкой в штампах последовательного действия. Правку производят гладкими, точечными или вафельными штампами и на специальных рихтовочных станках. Гладкие штампы применяют для деталей из мягких материалов, точечные и вафельные - для деталей из более твердых материалов. Шаг между зубцами у этих штампов составляет (0,9 - 1,1)S. Усилие правки P рассчитывают по формуле

$$P = qF,$$

где F - поверхность детали, подвергаемая правке,

q - удельное давление.

Кроме плоских деталей, правке подвергают и пространственные детали. В этом случае рабочая часть штампа имеет форму подвергаемой правке детали. Этот способ правки высокопроизводителен, но не обеспечивает высокой точности.

Разбортовку применяют для образования борта по контуру отверстия в плоской заготовке или для увеличения высоты полый детали, полученной вытяжкой. При разработке происходит растяжение материала, в результате чего наблюдается значительное утонение материала на торце разбортованного отверстия.

Объемная штамповка объединяет ряд таких операций, как осадка, объемная формовка, калибровка, высадка, холодное выдавливание, чеканка, клеймение.

Осадка - обжатие заготовки между двумя плитами, которые могут быть гладкими или с углублениями, при этом основная масса металла свободно вытекает в стороны.

Усилие осадки при подборе пресса рассчитывают по формуле

$$P = qF,$$

где F - площадь проекции детали,

q - удельное давление.

Объемная формовка аналогична осадке и отличается от нее тем, что формоизменение заготовки происходит в полости штампа, закрытой полностью или частично. Точность объемной формовки в направлении нажатия составляет от 0,05 до 0,1 мм, а в направлении, перпендикулярном нажатию, 0,02 - 0,05 мм. Шероховатость поверхности соответствует 6 - 8-м классам чистоты.

Калибровка предназначена для получения точных размеров и гладкой поверхности объемных деталей путем обжатия в штампе. Существуют плоскостная и объемная калибровки. Близкими к калибровке операциями являются чеканка и клеймение, при которых на поверхности детали происходит образование выпукло-вогнутого рельефа. Чеканка характеризуется большим удельным давлением.

Холодное выдавливание деталей - один из наиболее прогрессивных способов получения полых тонкостенных деталей или деталей меньшего поперечного сечения из толстой заготовки путем истечения металла в зазор между пуансоном и матрицей.

Холодная высадка. Для высадки используют калиброванный материал преимущественно круглого сечения следующих марок: стали от 08 по 45, 20Х, 40Х, 30ХГСА, ШХ9, ШХ15, 1Х18Н9Т, У10А, дуралюминий Д1 и Д17, латунь ЛС59, Л62, Л68, медь и др.

Высадку осуществляют на холодно-высодочных прессах-автоматах и в штампах на обычных кривошипных прессах.

Усилие высадки крепежных деталей ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$P = (0,5 - 0,6) \sigma_{\text{тДД}},$$

где $\sigma_{\text{т}}$ - предел текучести материала, D - диаметр головки.

Комбинированная штамповка. Использование комбинированной штамповки позволяет по сравнению с пооперационной штамповкой снизить трудоемкость (в 3-8 раз и более), повысить качество изготавливаемых деталей. Комбинированную штамповку можно осуществить на универсальных и на многопозиционных прессах.

На универсальных прессах комбинированную штамповку производят в штампах последовательного, совмещенного и совмещенно-последовательного действия.

Ротационное обжатие (редуцирование)

Редуцированием называют способ формообразования давлением сплошных и полых деталей - тел вращения переменного сечения вдоль оси. Редуцирование методом ротационного обжатия осуществляется как в горячем, так и в холодном состоянии. Обработка методом ротационного обжатия имеет значительные преимущества, так как обеспечивает экономию металла на 5-25%, повышает производительность в 20-30 раз и повышает исходные прочностные показатели до 50%. Ротационное обжатие осуществляется на специальных ротационно-обжимных машинах.

Точность размеров при редуцировании соответствует 3-2му классам, а шероховатость поверхности соответствует 8-9му классам чистоты.

Волочение

Волочение применяют для получения заготовок сплошных или полых деталей, сечение которых по всей длине постоянно. Заготовки подвергают волочению в целях приближения сечения заготовки к сечению готовой детали, что позволяет свести к минимуму или вообще исключить механическую обработку резанием. Для волочения прутков и труб используют продольно-волоочильные станы, а для волочения проволоки и других профилей, сматываемых в бунты - барабанные станы. Скорости волочения на продольно-волоочильных станах для круглых стальных прутков составляют от 6 до 20 м/мин, а для прутков из цветных металлов и сплавов - от 80 до 25 м/мин. Волочение осуществляют с обильной смазкой. Трубы волочат через неподвижные цельные волокни без оправки, на стержне и на пробке или плавающей оправке. Без оправки обычно осуществляют волочение труб диаметром менее 30 мм, а с оправкой - свыше 30 мм. Величина обжатия труб за отдельный проход такая же, как и при волочении сплошных профилей. Скорость волочения стальных труб составляет 12 - 40 м/мин, а труб из цветных металлов и сплавов - 15- 50 м/мин. Чем меньше диаметр трубы, тем больше скорость волочения. В результате волочения точность размеров в поперечном сечении получается по 3-4му классам (в отдельных случаях может быть повышена до 2-го класса), шероховатость поверхности - по 8-9му классам чистоты.

Прокатка

По характеру перемещения металла в очаге деформации прокатка может быть разделена на следующие виды : продольная, поперечная и поперечно-винтовая.

При продольной прокатке металл деформируется валками, вращающимися в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями. Оси валков параллельны между собой, а расстояние между ними в процессе работы не меняется. Металл деформируется в основном в продольном направлении.

При поперечной прокатке металл деформируется валками, которые вращаются с одинаковыми скоростями в одном направлении. Оси валков параллельны между собой, как при продольной прокатке. Прокатываемая заготовка круглого сечения вращается в валках и по мере уменьшения расстояния между ними обжимается по диаметру. Обжатие по диаметру сопровождается вытяжкой в поперечном направлении, т.е. вдоль оси заготовки. Однако поперечная деформация заготовки затруднена, так как ей препятствуют силы трения вдоль образующих поверхностей обоих валков. В

результате поперечной прокатки при определенных условиях деформации возможно возникновение в осевой зоне заготовки полости в виде центрального отверстия или кольцевого зазора, появление рыхлости и других внутренних дефектов.

При поперечно-винтовой прокатке валки, как и при поперечной прокатке, вращаются с одинаковыми скоростями в одну сторону. Оси валков при поперечно-винтовой прокатке перекошены одна относительно другой, по крайней мере, в одной из координатных плоскостей.

Непрерывность процесса обработки, являясь важным преимуществом поперечно-винтовой прокатки, сближает данный процесс с продольной прокаткой. Однако основные закономерности процесса определяет поперечная прокатка, так как углы перекоса осей валков при поперечно-винтовой прокатке относительно невелики (в пределах от 0,5 до 10 градусов). В результате поперечно-винтовой прокатки при определенных условиях деформации также возможно возникновение в осевой зоне заготовки рыхлости или внутренней полости, что недопустимо для заготовок и профилей сплошного сечения. Однако разрыхление металла при этом виде прокатки способствует успешной прошивке гильз из сплошной заготовки. Прошивка гильз на станках поперечно-винтовой прокатки при помощи оправки и валков соответствующей формы является одним из основных технологических процессов изготовления полых заготовок для прокатки бесшовных труб.

Продольную прокатку применяют в производстве мембран, пластин конденсаторов переменной емкости , для упрочнения материала и, следовательно, получения необходимых механических свойств и однородной структуры, получения необходимой толщины материала, а также для изготовления мелких специальных профилей в целях сокращения, а иногда и полного исключения фрезерных работ. Для продольной прокатки используют специальные станы или приспособления, в которых валки получают привод от шпинделя токарного или фрезерного станков. К категории работ по продольной прокатке следует отнести и изготовление тонких лент.

Поперечная прокатка находит применение при изготовлении деталей приборов со сложным профилем в осевом сечении.