

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РЭА (ЭВА) ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ

Цель работы

1. Изучение механизма пластической деформации металлов.
2. Ознакомление с прогрессивным методом обработки металлов давлением - листовой штамповкой.
3. Изучение оборудования и оснастки, применяемой для листовой штамповки и методики расчета основных параметров процесса вырубки (пробивки).
4. Разработка технологического процесса вырубки, пробивки и гибки с заполнением операционной карты.
5. Исследование влияния толщины заготовки на усилие вырубки, пробивки и гибки деталей.

Индивидуальные задания

Вариант 1

1. Физическая сущность упругой и пластической деформации металлов.
2. Характеристика оборудования, применяемого для листовой штамповки.
3. Исследовать влияние толщины листовой заготовки из алюминия марки АД-1 ($h = 0,5; 1,0; 1,5$ мм) на усилие вырубки.

Вариант 2

1. Механизм деформирования металлов двойникованием и скольжением.
2. Виды штампов.
3. Исследовать влияние толщины листовой заготовки из латуни марки Л63 ($h = 0,5; 1,0; 1,5$ мм) на усилие пробивки.

Вариант 3

1. Дислокационная теория пластического деформирования металлов.

2. Требования к штампам и материалам, применяемым для их изготовления.

3. Исследовать влияние толщины листовой заготовки из дюралюминия Д16 ($h = 0,5; 1,0; 1,5$ мм) на усилие гибки.

Вариант 4

1. Особенности вырубki деталей из текстолита и гетинакса.

2. Раскрой материала, расчет усилия вырубki (пробивки) и гибки.

3. Исследовать влияние толщины листовой заготовки из стали 20 ($h = 0,5; 1,0; 1,5$ мм) на усилие вырубki.

Краткие теоретические сведения

1. Механизм пластической деформации металлов

Пластическое изменение формы твердого тела называют пластической деформацией. Обработка металлов давлением, одним из видов которой является листовая штамповка, возможна благодаря пластичности металлов. Пластичностью называются свойства твердых тел необратимо не разрушаясь изменять свою форму под действием внешних сил или внутренних напряжений.

Пластическая деформация металлов представляет собой сложный физико-механический процесс, обеспечивающий формоизменение металлической заготовки и изменение структуры и физико-механических свойств металла.

Под действием внешних сил твердое тело сначала деформируется упруго, а затем пластически. Таким образом, пластической деформации всегда предшествует упругая. Упругая деформация возникает при относительно небольших значениях деформирующих сил (не превышающих предела упругости σ_p) и является следствием упругих смещений атомов металла, происходящих в результате упругих изменений межатомных расстояний в кристаллической решетке. По прекращении действия деформирующих сил атомы возвращаются на свои места и упругая деформация исчезает.

Пластическая деформация возникает вслед за упругой под действием значительных сил (обязательно превышающих предел упругости σ_p). Она сохраняется и после снятия нагрузки. Однако в этом случае после разгрузки деформируемое тело несколько изменяет свои размеры за счет частичного восстановления первоначальных размеров под действием упругой деформации. Такое явление называется упругим последствием.

При пластическом деформировании зерна металла и их группы дробятся, перемещаются, поворачиваются, вытягиваются и, кроме того, некоторые части кристаллов смещаются относительно упругих. Эти смещения осуществляются главным образом скольжением (сдвигом) и двойникованием. При скольжении (рис. 1) одна часть кристалла смещается параллельно относительно другой на расстояние, во много тысяч раз большее межатомных расстояний. Скольжение происходит по определенным кристаллографическим плоскостям, которые называются плоскостями скольжения. Обычно ими являются плоскости, имеющие наибольшую плотность размещения (упаковки) атомов. Например, в металлах с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК) плоскостями скольжения являются плоскости октаэдра типа $\{111\}$. Скольжение анизотропно. По одним кристаллографическим плоскостям оно идет значительно легче, чем по другим. При повышении температуры увеличивается количество возможных плоскостей скольжения.

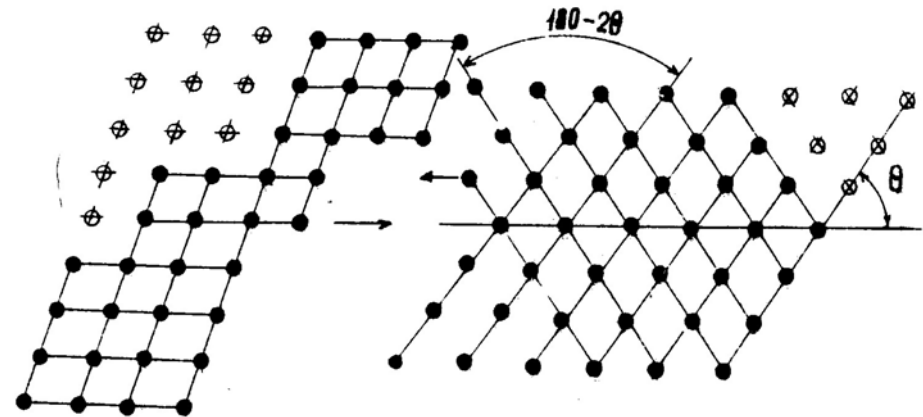


Рис. 1. Схема деформирования скольжением

Рис. 2. Схема деформирования двойникованием

Двойникование представляет собой смещение одной части кристалла симметрично остальному его объему (рис. 2). При этом грани кристаллической решетки, первоначально наклоненные к плоскости двойникования под углом $\theta < 90^\circ$, поворачиваются на угол $180^\circ - 2\theta$. Наибольшую склонность к двойникованию обнаруживают кристаллы с ПЦУ- и ОЦК-решетками.

Двойникование сравнительно редко наблюдается при статическом нагружении и значительно чаще при деформировании ударом. С увеличением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию повышается. Плоскости двойникования обычно совпадают с плоскостями скольжения.

Пластическая деформация происходит не только вследствие сдвига внутри кристалла (зерна), но и в результате поворота, сдвига и относительного перемещения самих зерен. Такой механизм пластической деформации называется межкристаллитной или межзеренной деформацией, которая приводит к определенной ориентировке зерен в процессе пластической деформации, т.е. к появлению текстуры.

Аморфный механизм пластической деформации (диффузионная пластичность) характеризуется отсутствием порядка в последовательности перемещения атомов или молекул из одних мест устойчивого равновесия в другие. Он характерен для пластической деформации пластмасс.

Исследованиями установлено, что фактически пластические сдвиги в кристаллах происходят главным образом на основе смещений дислокаций - линейных несовершенств кристаллической структуры металлов. Эти несовершенства схематически представляют собой нарушения правильного чередования атомных плоскостей кристаллической решетки, возникающие на основе появления в ней дополнительных атомных плоскостей или поверхностей.

Дислокации энергетически не уравновешены. Они подвижны и сдвиг их происходит относительно легко (микроскачками). Их смещение сопровождается появлением новых дислокаций. Пластическая деформация зерна складывается из множества микроскачков отдельных дислокаций, происходящих по разным плоскостям скольжения.

2. Сущность процессов и технология листовой штамповки

Листовая штамповка относится к холодной обработке давлением. Листовую штамповку применяют для изготовления плоских пространственных тонкостенных изделий из листового, ленточного, полосового металла или неметаллических материалов (клеми, шайбы, шасси, кожухи приборов, панели и др.).

Листовые штампованные детали или изделия отличаются достаточной точностью (10^{-2} качества точности), хорошей взаимозаменяемостью. На металлорежущих станках их обычно не обрабатывают.

Основные преимущества листовой штамповки:

а) возможность изготовления прочных, жестких, тонкостенных деталей или изделий простой и сложной формы, получать которые другими методами обработки затруднительно или невозможно;

б) высокая производительность, экономный расход металла и простота процесса;

в) широкие возможности и относительная простота механизации и автоматизации процесса обработки.

Операции листовой штамповки подразделяются на разделительные, при которых одна часть металла отделяется от другой, формообразующие, при которых изменяются пространственные формы заготовки, комбинированные, при которых сочетаются разделительные и формообразующие элементы обработки, и штампосборочные, при которых отдельные штампованные детали соединяются обработкой давлением в общую конструкцию. Схемы двух первых операций приведены на рис. 3:

Технология листовой штамповки обычно предусматривает: подготовку материала (очистка, смазка), изготовление заготовок (резка листов на полосы или заготовки, резка ленты и т.п.), деформирование металла (разделительные и формообразующие операции), термическую обработку - отжиг для снятия наклепа после холодного деформирования, закалку или химико-термическую обработку, если это необходимо, и т.п., отделочные операции - удаление заусенцев, промывку, полирование, окраску, нанесение защитных или декоративных металлических покрытий (хромирование, никелирование и т.п.). Иногда в технологию включаются сварочные и сборочные операции.

Перед разработкой технологии обычно выполняют технологические испытания материала, форм и размеров изготавливаемой детали (испытания на изгиб, срез, перегиб, твердость). При разработке технологии сначала определяют формы и размеры заготовок: для плоских деталей размеры заготовки соответствуют их форме и размерам; для гнутых деталей формы и размеры заготовок определяются путем разворачивания (условной разгибки) детали в плоскую. При вытяжке круглых деталей в качестве заготовок обычно используют заранее вырубленные диски.

Определив размеры заготовки, устанавливают раскрой материала. Раскром называют порядок расположения заготовок на листе, ленте или полосе. Выбор вида и способа раскроя зависит главным образом от формы необходимых заготовок. Раскрой может быть (рис. 4) с отходами (а, б) и безотходный (в), прямой (а), наклонный (б), комбинированный, когда сразу вырубает заготовки для двух или нескольких деталей (г), многорядный (д) и т.п.

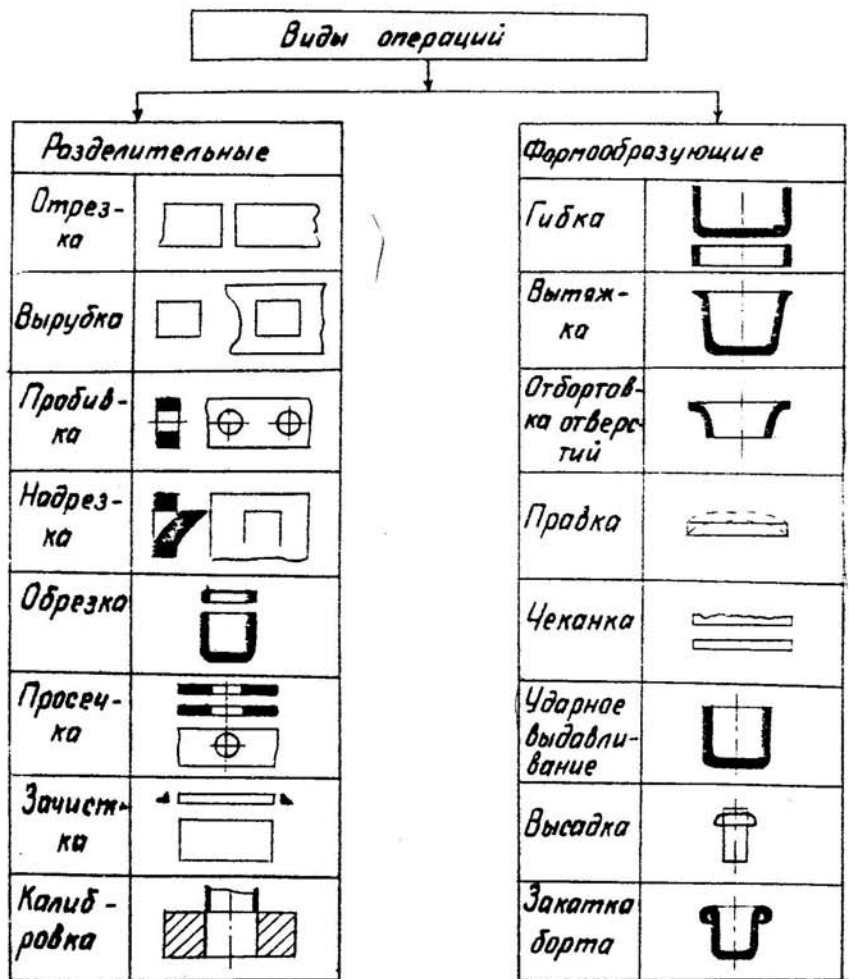


Рис. 3. Схемы операций холодной штамповки

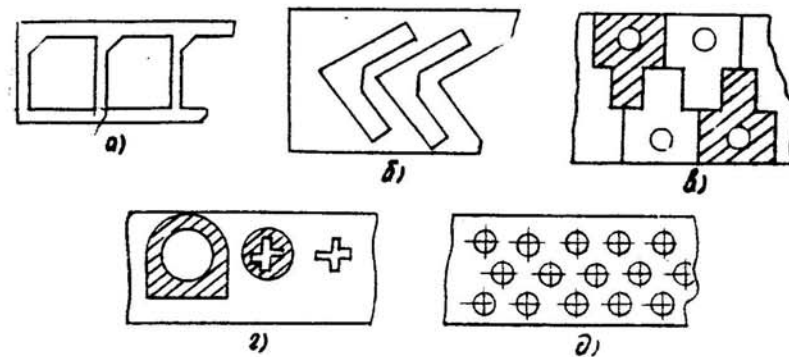


Рис. 4. Некоторые виды раскроя полосы

Выбирают такой раскрой, который наиболее экономичен. Рациональность и экономичность раскроя оценивается коэффициентом использования материала η , который в общем случае определяется по формуле:

$$\eta = \frac{F_2}{F_3} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где F_2 - площадь или масса штампуемой детали, мм^2 ; F_3 - площадь или масса заготовки, требуемой для изготовления детали, мм^2 .

Установив вид раскроя, выбирают виды штамповочных операций. При этом руководствуются формами штампуемых деталей, их размерами, точностью размеров, технологическими особенностями выбранных операций и т.д. Так, например, при изготовлении вырубкой и пробивкой плоских деталей малой точности ограничиваются только этими операциями, при изготовлении более точных деталей назначают еще правку и зачистку. При изготовлении пространственных деталей назначают вырубку заготовок, затем гибку или вытяжку в один или несколько переходов или операций. После вытяжки обычно назначают обрезку. Для точных пространственных деталей после гибки или вытяжки назначают калибровку или чеканку для уточнения отделочных элементов формы, и т.д. Выбрав основные деформирующие операции, назначают вспомогательные операции, например промежуточный отжиг, травление, промывку и т.п. В технологии обязательно предусматриваются операции промежуточного и окончательного контроля качества изготавливаемой детали.

На основе установленных операций выбирают необходимое оборудование и применительно к нему разрабатывают конструкции штампов.

Выбирая оборудование, в первую очередь учитывают возможность осуществления на нем необходимых операций, производительность, возможность механизации и автоматизации процесса обработки на этом оборудовании, основные параметры технической характеристики, наиболее важной из которых является усилие пресса.

Усилие штамповки (с учетом усилия, необходимого на сьем отхода или детали с пуансона и усилия на проталкивание детали или отхода через матрицу) определяется по формуле

$$P_p = \frac{1,35 P_8}{1000}, \text{ кН}, \quad (2)$$

где P_p - расчетное усилие вырубki, пробивки или гибки.

Пресс выбирается из условия, чтобы его номинальное усилие было равно или больше расчетного усилия ($P_p \leq P_{ном}$).

Усилие вырубki (пробивки) определяется по формуле

$$P_8 = k L S \sigma_{ср} \cdot H, \quad (3)$$

где k - коэффициент, учитывающий состояние режущих кромок, неравномерность зазора между пуансоном и матрицей; L - периметр вырубаемого (пробиваемого) контура, м; S - толщина материала в м; $\sigma_{ср}$ - сопротивление материала срезу, Н/м².

Усилие гибки определяется по формуле

$$P_2 = 1,25 \sigma_p L S k, \text{ Н}. \quad (4)$$

Усилие вырубki или пробивки можно уменьшить за счет применения пуансона или матрицы со скошенными кромками или применить штамп со ступенчатым расположением пуансонов, при этом при вырубке применяется штамп со скошенными режущими кромками у матрицы, при пробивке - со скошенными кромками у пуансона. При использовании штампа со ступенчатым расположением пуансонов усилие вырубki (пробивки) уменьшается за счет поочередной работы пуансонов.

Особенностью технологического процесса штамповки деталей РЗА из текстолита и гетинакса является то, что при толщине заготовок из гетинакса более 1,0...1,5 мм, а для текстолита более 1,5...2,0 мм, обработку необходимо производить с подогревом (для текстолита всех марок и гетинакса марок В, Вс и Д до 30...90°C, для гетинакса марок Ав, Бв, Вв, Гв, Дв - до 110...120°C).

При вырубке материала с подогревом усадка размеров, совпадающих с продольным направлением листового материала несколько меньше усадки размеров, совпадающих с поперечным направлением. Поэтому при штам-

повке деталей прямоугольной формы раскрой листа на полосы рекомендуется производить так, чтобы длина детали совпадала с длиной листа, а ширина детали - с шириной листа.

При вырубке (пробивке) деталей из гетинакса и текстолита в целях повышения качества поверхности среза, предотвращения появления трещин и "выпучивания" (расслоения) материала в штампах необходимо применять сильные прижимные устройства.

Характеристика оборудования и оснастки, применяемых при штамповке

Основным оборудованием для холодной штамповки являются кривошипные гидравлические и пневматические прессы.

Кинематическая схема кривошипного прессы показана на рис. 5. Он состоит из кривошипного вала 4, на один из концов которого насажен маховик 2, свободно вращаемый на валу электродвигателем 1 при помощи клиноременной передачи. Кривошипный вал шатуном 5 и винтом 7 соединен с ползуном 6 прессы, двигающегося в направляющих 8. Винт 7 позволяет регулировать положения ползуна 6, что дает возможность устанавливать на пресс штампы различной высоты. Маховик 2 соединяется с кривошипным валом прессы муфтой 3, включаемой нажатием педали 9. Тормоз 10 быстро останавливает кривошипно-шатунный механизм прессы после разъединения муфты. Современные прессы оснащаются автоматическими устройствами для подачи материала, удаления отходов и изделий.

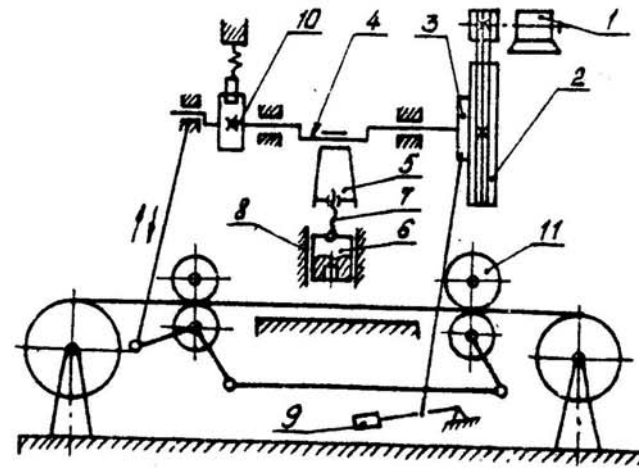


Рис. 5. Кинематическая схема кривошипного прессы

Для подачи заготовки может быть использовано валковое устройство II или клещевые, клиновые и др. механизмы. Отдельные заготовки насыпают в приемники-бункеры, откуда они поштучно попадают в штамп. Для удаления отштампованных изделий и отходов применяют пружинные выбрасыватели, механические руки (роботы), воздушное сдувание и т.д.

Оснасткой к оборудованию холодной штамповки являются штампы.

Как видно из рис. 6, простейший вырубной штамп состоит из нижней 1 и верхней 2 плит, направляющих колонок 4, хвостовика 3, направляющих втулок 5, пуансонодержателя 8, сменного пуансона 6, жесткого съемника 9, направляющих планок 10, вырубной матрицы 7 и крепежных деталей 11.

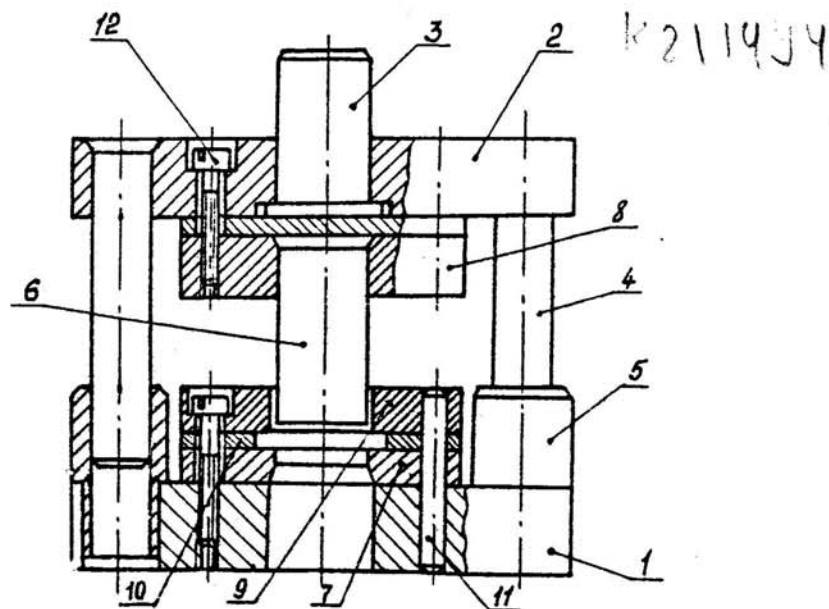


Рис. 6. Эскиз вырубного штампа.

Штампы различают по трем признакам: технологическому, конструктивному и эксплуатационному.

По технологическому признаку штампы подразделяются по роду выполняемых операций (отрезные, вырубные, гибочные и т.п.), по количеству одновременно штампуемых деталей (одноместные и многоместные) и по совмещенности операций (однооперационные, многооперационные).

По конструктивному признаку штампы подразделяются на штампы с направляющими устройствами и без них (открытые), упрощенные и универсальные (переналаживаемые).

По эксплуатационному признаку штампы подразделяются по способу подачи материала (с ручной и автоматической подачей), по способу удаления отштампованной детали (со штамповкой на провал через отверстие в матрице, выталкиванием детали в верхнюю часть штампа и удалением его жестким выталкиванием, со сдуванием детали сжатым воздухом или ручным удалением).

Конструкцию штампа выбирают согласно типу производства. При мелкосерийном производстве выбирают универсальные переналаживаемые штампы, обеспечивающие повышенную точность штамповки, быструю переналадку, обладающие повышенной стойкостью. В крупносерийном и массовом производстве применяют штампы с направляющими колонками и упрощенные штампы, они надежны в эксплуатации, удобны при установке, обладают повышенной стойкостью.

Для изготовления основных деталей штампов-пуансонов и матриц применяются высокопрочные легированные стали марок X12Ф1, X12М (HRC 54-60); вольфрам-кобальтовые твердые сплавы марок ВК-8, ВК-15, ВК20, ВК25, ВК30 (HRC 85-88).

В некоторых случаях для изготовления пуансонов и матриц вытяжных и формовочных штампов может применяться резина марок 33II, I847, Отвержденные эпоксидные смолы марок ЭД-5, ЭД-6, Э-40.

Оборудование оснастки, инструмент и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы

1. Пресс однокривошипный марки K211434.
2. Система силоизмерительная ЦГМ-5. Прибор "Микрофот" БПО-1.
3. Штампы: вырубной (код КК 27821011), пробивной (код КК 27802151), гибочный (код КК 278.2251).
4. Измерительный инструмент: штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166-03, линейка I-500 ГОСТ 427-75.
5. Слесарный инструмент: гаечный ключ I4x17, отвертка.
6. Материалы: Полоса Д63М 0,5x50x80 ГОСТ 931-70
Полоса АД 10,5x50x80 ГОСТ 2685-63.

Порядок выполнения работы

1. Изучить механизмы пластической деформации металлов.
2. Изучить технологию и оборудование для штамповки листовых материалов.
3. Получить у лаборанта материал.
4. Произвести рациональный раскрой материала (ширина перемычек выбирается по таблице приложения 3). Рассчитать коэффициент использования материала по формуле (1).
5. Рассчитать по формуле (3) усилие вырубки (пробивки или гибки) и требуемое усилие пресса для каждой толщины заготовки, сравнить его с номинальным усилием, используемым в работе пресса (формулы 2, 4).
6. Разработать технологический процесс получения детали в соответствии с индивидуальным заданием с заполнением операционной карты.
7. Произвести вырубку (пробивку, гибку) детали согласно раскрой и разработанному техпроцессу для 3-х толщин заготовок, изменяя при этом усилие вырубки с помощью системы ЦТМ-5 (инструкция прилагается). В полученной распечатке данных найти для каждого эксперимента 3 максимальные значения усилия в единицах ЕОД, найти среднее значение и по градуированной кривой прибора, приведенной в инструкции по эксплуатации, определить значения усилия в Ньютонах.
8. Построить графическую экспериментальную и теоретическую зависимость усилия вырубки от толщины заготовки.
9. На приборе "Микрофот" по диафильму № 686 ознакомиться с конструкцией штампов холодной штамповки и их назначением.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Индивидуальное задание
3. Краткие теоретические сведения.
4. Схема исследуемого технологического процесса.
5. Характеристика применяемого оборудования, оснастки, инструментов, материалов.
6. Экспериментальные данные:
 - а) схема раскроя полосы с размерами;
 - б) значения измеренного усилия вырубки (гибки, пробивки) в единицах ЕОД и Н.

7. Рабочий эскиз вырубного штампа.
8. Обработка экспериментальных данных, расчет значений.
9. Анализ полученных результатов и выводы по работе, рекомендации по снижению деформирующих усилий и повышению коэффициента использования материала.
10. Приложение. Содержит распечатку экспериментальных данных на ЦТМ системы ЦТМ-5 и оформленные технологические карты.

Примечание Полученные при выполнении работы детали сдаются лаборанту для дальнейших их исследований на точность и шероховатость в других лабораторных работах по курсам "Технология деталей" и "Технология деталей и периферийных устройств ЭВА".

Контрольные вопросы

1. Пластическая деформация и ее разновидности.
2. Механизмы пластической деформации.
3. Дислокационная теория пластической деформации.
4. Преимущества листовой штамповки.
5. Порядок разработки технологического процесса листовой штамповки.
6. Система обозначения Операционной технологической карты штамповки.
7. Характеристика оборудования и оснастки, применяемых для холодной штамповки.
8. Принцип работы кривошипного пресса.
9. Конструкция, виды штампов и материалы, применяемые для их изготовления.
10. Операции, выполняемые холодной штамповкой.
11. Особенности штамповки деталей из текстолита и гетинакса.
12. Правила раскроя полосы.
13. Способы уменьшения усилия вырубки.
14. Расчет основных параметров процесса штамповки.

Литература

1. Технология деталей и периферийных устройств ЭВА: Учебн. пособие для радиотехнических спец. вузов / М. Д. Тяжловский, А. А. Хмыль, В. И. Станиславский. - Мн.: Высшая школа, 1981. - 266 с.

2. Технология металлов и других конструкционных материалов.
В.В.Архипов, А.А.Абяндер, М.А.Касенков и др. - М.: Высшая школа,
1968.
3. Романовский В.П. Холодная штамповка. - М.-Л.: Машиностроение,
1965.

Г

М Е Т О Д И К А

построения полного факторного эксперимента и
расчета коэффициентов уравнения регрессии

Модели технологических процессов обычно ищут в виде полинома, представляющего собой уравнение регрессии

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коэффициенты уравнения регрессии; x_i, x_j - независимые переменные.

Без учета членов 2-го порядка n для получения 3-х независимых переменных уравнение регрессии имеет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{23} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

Сокращение объема экспериментальных данных для нахождения коэффициентов уравнения регрессии достигается путем использования методов планирования эксперимента, при которых исследования проводят по заранее составленному плану.

В исследованиях технологических процессов самое широкое распространение нашел метод полного факторного эксперимента.

Матрица планирования при построении моделей технологических процессов методом полного факторного эксперимента получается путем перебора значений независимых переменных при условии, что в каждом опыте их значения не будут повторяться.

Для двух независимых переменных (факторов) матрица планирования приведена в таблице.

Матрица полного факторного эксперимента при трех независимых переменных

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Y_i	\bar{Y}_i
1	2	3	4	5	6	7
1	+ I	- I	- I	+ I		
2	+ I	+ I	- I	- I		
3	+ I	- I	+ I	- I		
4	+ I	+ I	+ I	+ I		
5	+ I	- I	- I	- I		

Рациональный выбор ширины перемычек в зависимости от толщины материала

Толщина материала, мм	Обозначения перемычек	Минимальная ширина перемычек при однорядной вырезке, мм					
		круглых деталей при D			прямоугольных деталей при L		
		до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200
до 0,5	a	1,5	1,7	1,9	1,8	2,0	2,5
	a ₁	1,2	1,4	1,6	1,5	1,7	2,2
св. 0,5 до 1	a	1,2	1,4	1,6	1,5	1,7	2,2
	a ₁	0,8	1,0	1,2	1,0	1,2	1,7
1,0-1,5	a	1,5	1,7	1,9	1,9	2,1	2,6
	a ₁	1,1	1,3	1,5	1,4	1,6	2,1
1,5-2,0	a	1,9	2,1	2,3	2,2	2,4	3,0
	a ₁	1,5	1,7	1,9	1,7	1,9	2,5
2,0-2,5	a	2,3	2,5	2,7	2,6	2,8	3,3
	a ₁	1,8	2,0	2,2	2,2	2,4	2,9
2,5-3,0	a	2,6	2,8	3,0	3,0	3,2	3,7
	a ₁	2,1	2,3	2,5	2,5	2,7	3,2
3,0-3,5	a	3,0	3,2	3,4	3,4	3,6	4,1
	a ₁	2,5	2,7	2,9	2,9	3,1	3,6
3,5-4,0	a	3,3	3,5	3,7	3,7	3,9	4,4
	a ₁	2,8	3,0	3,2	3,2	3,4	3,9
4,0-4,5	a	3,6	3,8	4,0	4,0	4,2	4,7
	a ₁	3,1	3,3	3,5	3,5	3,8	4,3