

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Исследование инновационных процессов
листовой штамповки**

Электронные методические указания
по лабораторному практикуму

САМАРА
2010

**Составители: Гречников Фёдор Васильевич,
Попов Игорь Петрович,
Николенко Константин Анатольевич**

Настоящий лабораторный практикум включает работы, связанные с изучением процессов вырубки, пробивки, гибки с применением эластичной среды и определением их основные технологические параметры. При выполнении лабораторных работ студенты изучают сущность основных процессов листовой штамповки, исследуют взаимосвязь основных параметров процессов, предельных коэффициентов формообразования, силовых, геометрических факторов.

Предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» по направлению 150400.68 «Металлургия».

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

Штамповка листовых деталей летательных аппаратов с применением эластичной среды

Цель работы

Установление основных технологических параметров при штамповке листовых деталей с применением эластичной среды.

Задания

Изучить механизм операций штамповки, вырубки, пробивки, гибки.

Определить зависимость потребного давления от высоты формоблока при вырубке и от диаметра отверстия формоблока при пробивке.

Установить зависимость угла пружинения от угла и радиусагиба.

Составить отчет о выполненной работе.

Теоретические основы

Штамповка деталей с применением эластичной среды нашла наиболее широкое применение в производстве летательных аппаратов, что объясняется простотой и универсальностью штамповой оснастки. Для того, чтобы сменить одну операцию другой (например: вырубку гибкой) достаточно поменять всего одну деталь - формоблок. Это обстоятельство позволяет значительно сократить время на подготовку производства, отладку штампового инструмента, что в условиях единичного или мелкосерийного производства, к которому и относится производство летательных аппаратов, имеет место значительный экономический эффект.

Штамповка с применением эластичной среды может производиться по трем схемам:

- в эластичную матрицу жестким пуансоном;

- в жесткую матрицу эластичным пуансоном;
- в эластичную матрицу эластичным пуансоном.

В последнем случае пуансон и матрица выполнены из материала различной твердости.

Наибольшее распространение в промышленности получили первые две схемы.

Операция вырубки

Технологическая схема операции вырубки представлена на рисунке 1. В момент соприкосновения эластичной среды с уложенной на формоблок заготовкой припуск материала огибается по всему контуру режущего блока. После соприкосновения с подштамповой плитой, припуск защемляется между плитой и эластичной средой. В материале заготовки в зоне режущих кромок возникает сложная схема напряженного состояния с компонентами напряжений растяжения, сжатия касательных напряжений. Момент разделения частей заготовки происходит на стадии разрушения, причиной которой является образование трещин в зоне режущих кромок. Этой стадии предшествует пластическая деформация с компонентами растяжения и сдвига. Ограничение величины пластической деформации обусловлено исчерпанием ресурса пластичности материала (критерием Колмогорова).

$$\Psi = \int_0^{\varepsilon_i} \frac{d\varepsilon_i}{\varepsilon_{p_i}} = 1;$$

где $d\varepsilon_i$ - приращение интенсивности деформации рассматриваемой части заготовки, зависящее от схемы напряженного состояния.

ε_{p_i} - интенсивность деформации разрушения для данного материала, зависящая от схемы напряженного состояния.

Наличие значительных растягивающих напряжений в рассматриваемой схеме приводит к тому, что исчерпание пластичности металла происходит при относительно небольших значениях накопленной интенсивности деформаций, чем при вырубке в инструментальном штампе. Относительно небольшая стадия пластической деформации в сравнении со стадией разрушения обуславливает невысокое качество реза. К недостаткам рассматриваемой схемы следует отнести низкий коэффициент использования материала из-за необходимости использования припуска, затрудненность применения средств механизации и автоматизации.

Основными технологическими параметрами при вырубке является расчет давления эластичной среды и усилия. Они рассчитываются из условия равенства внешней силы, необходимой для вырубке, силам внутреннего сопротивления заготовки.

$$F_{\text{внеш}} = P_{\text{внутр}} \cdot \quad (1)$$

Силу сопротивления заготовки можно определить по приближенной формуле:

$$P_{\text{внутр}} = \sigma_{\text{в}} F_{\text{среза}} = 2\pi R S \sigma_{\text{в}}; \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ - предел прочности материала,

S - толщина листа,

R - радиус вырубаемой детали.

Внешняя сила рассчитывается по формуле

$$P_{\text{внеш.}} = g F_{\text{пр}}; \quad (3)$$

где g - давление, приложенное к эластичной среде,

$F_{\text{пр}}$ -площадь проекции припуска на горизонтальную плоскость, свободного от контакта с формоблоком и подштамповой плитой.

Если в первом приближении считать, что форма свободной поверхности припуска соответствует четверти вогнутого сферического кольца, то ее площадь определяется равенством:

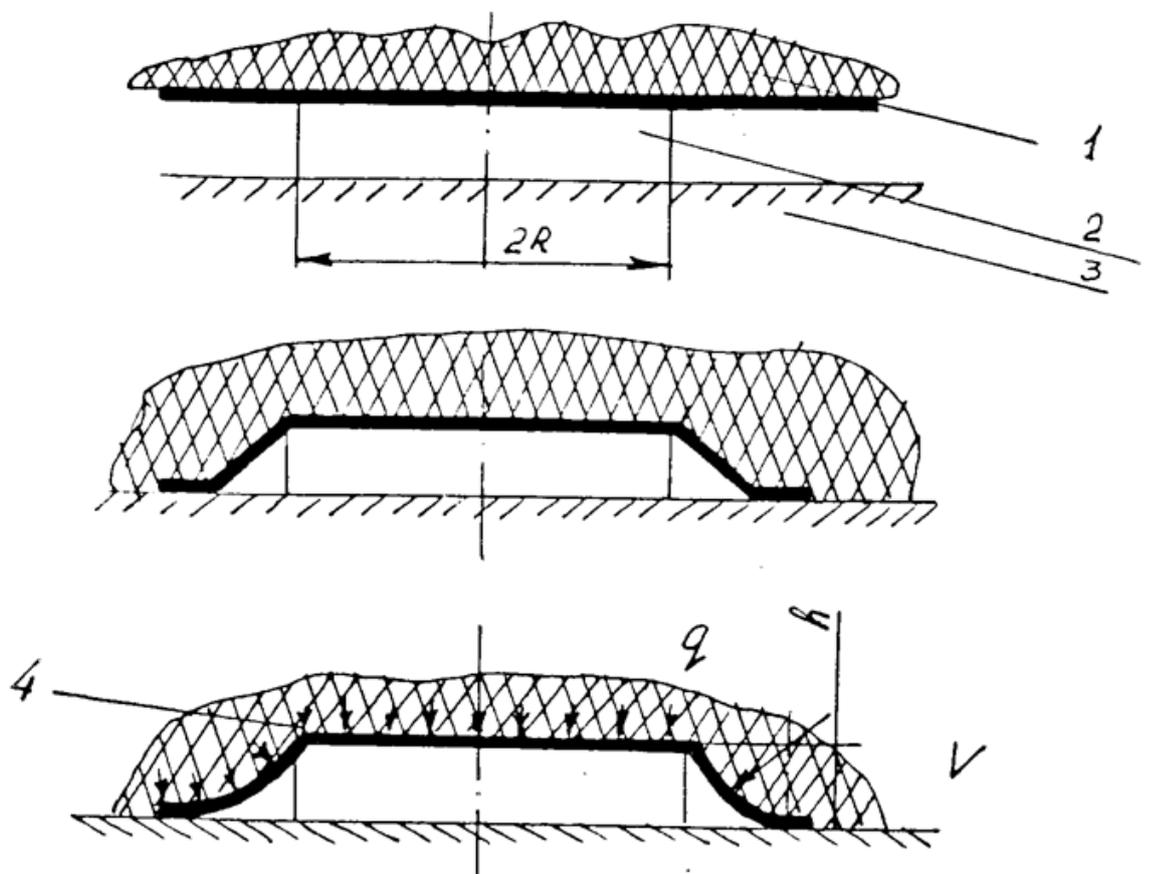
$$F_{\text{пр}} = \pi[(R + h)\pi h - 2h^2] ; \quad (4)$$

где h – высота формблока

После преобразований найденных соотношений (1-4) давление эластичной среды представляется формулой

$$g = \sigma_B \frac{2RS}{\pi(R+h)h - 2h^2}. \quad (5)$$

Анализ последней зависимости показывает, что с увеличением высоты формблока давление эластичной среды убывает (рисунок 2) при одинаковых размерах детали.



1 - эластичная среда, 2 - формблок, 3 - подштамповочная плита, 4 – деталь.

Рисунок 1 - Схема последовательности операции врубki с применением.

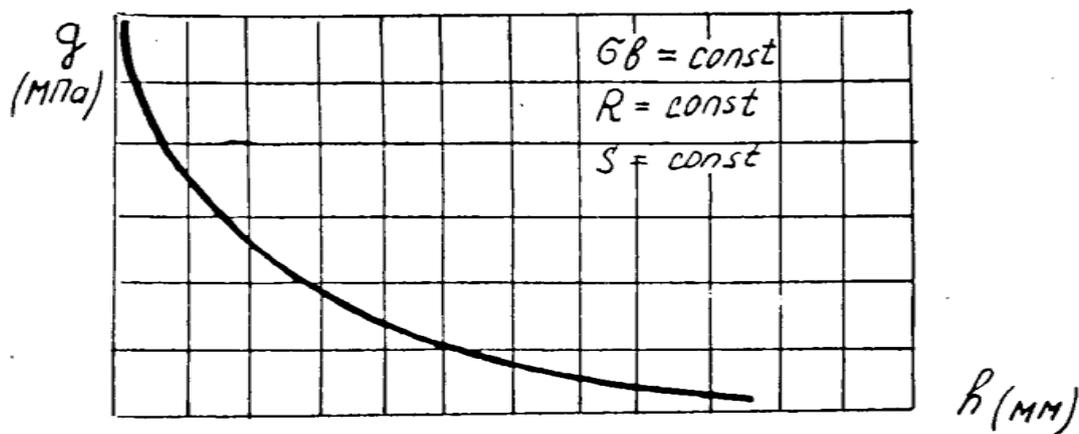


Рисунок 2 - Зависимость давления эластичной среды от высоты формблока.

Усилие процесса, необходимое для выбора оборудования:

$$P_{об.} = gF; \quad (6)$$

где F - площадь сечения эластичной среды, перпендикулярной направлению действия силы от оборудования.

Операция пробивки

Механизм реза в операции пробивки аналогичен механизму реза в операциях вырубки. Определение основного технологического параметра – давления, проводится на основе изложенной методики с использованием соотношений (1 - 3). Однако в соотношении (3) свободная площадь определяется следующим соотношением (рисунок 3).

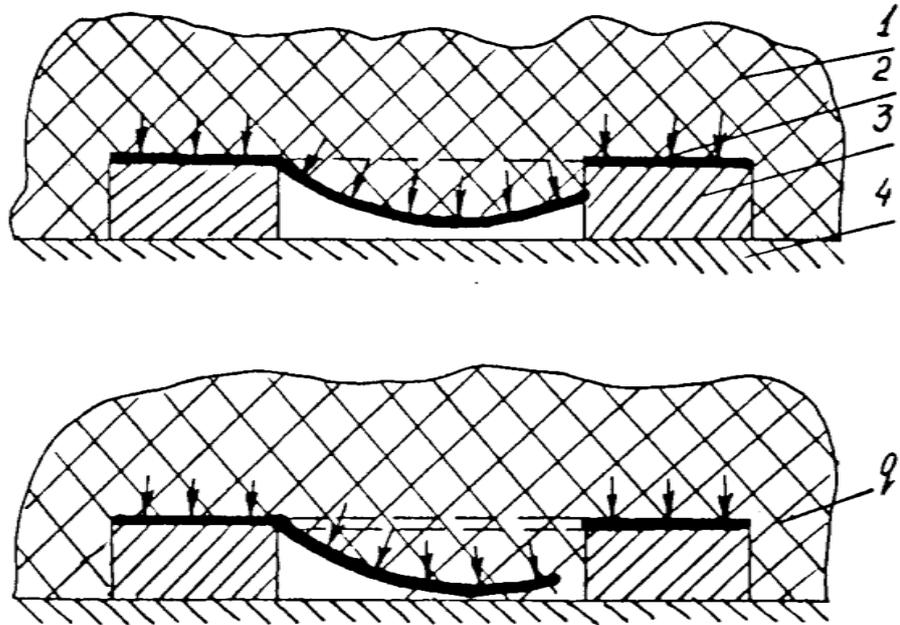
$$F_{пр.} = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (7)$$

Соотношение (5) приводится к виду

$$g = \sigma_b \frac{2S}{R}. \quad (8)$$

Таким образом, с увеличением радиуса пробивки давление среды уменьшается. Это объясняется тем, что рост площади реза увеличивается в меньшей пропорции, чем площадь поверхности, которая определяет внешнюю силу (рисунок 4). Анализируя график изменения давления от

радиуса, можно заключить, что минимальный радиус отверстия зависит от возможностей обеспечить высокое давление эластичной среды.



1 - эластичная среда, 2 - деталь к, 3 - формоблок,
4 - подштамповочная плита.

Рисунок 3 - Схема последовательности операции пробивки.

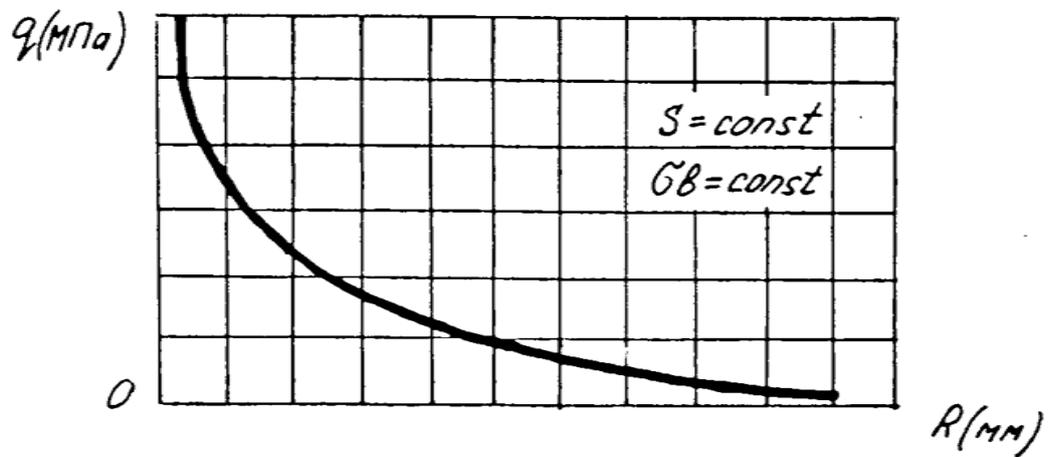


Рисунок 4 - Зависимость давления эластичной среды от диаметра формоблока.

Операция гибки

Технологическая схема операции гибки, представлена на рисунке 5. Основными технологическими параметрами рассматриваемого процесса является: давление эластичной среды, усилие среды, минимальный радиусгиба, величина пружинения детали, величина заготовки.

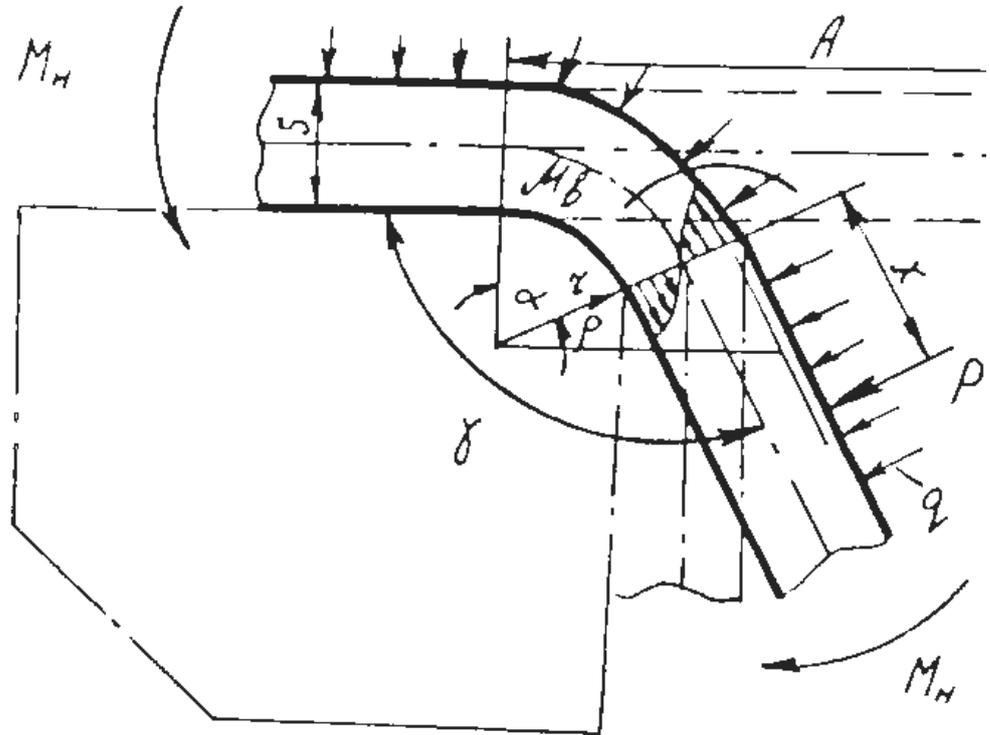


Рисунок 5 - Схема действия сил при гибке.

Определение силовых параметров процесса проводится из условия равенства моментов от внешних сил моменту от внутренних сил заготовки, т.е. моменту сопротивления заготовки.

$$M_{\text{внеш.}} = M_{\text{внутр.}} \quad (9)$$

Принимая гипотезу плоских сечений, момент сопротивления заготовки можно установить:

$$M_{\text{внутр.}} = \frac{K'_Q S^2}{2^{n+1} (n+2) \left(\frac{\sqrt{R+r}}{S} \right)^2}; \quad (10)$$

где $K' = \frac{K_Q}{(1-\mu_{12}\mu_{21})^{0.5(1+n)}}$ - приведенный коэффициент аппроксимации, (10')

$K_{Q,n}$ - коэффициент степеней аппроксимации,

$\mu_{12}\mu_{21}$ - коэффициенты анизотропии вдоль оси и поперек оси прокатки листа,

R, r - наружный и внутренний радиусгиба.

Момент внешних сил в соответствии со схемой (рисунок 5) находится относительно сечения 1-1, в котором заготовка испытывает внутреннее сопротивление:

$$M_{\text{внеш.}} = P x = g x^2 b = g (A - r\alpha)^2 b, \quad (11)$$

где x - плечо действия результирующей силы, приложенной к свободному участку заготовки,

r - радиусгиба,

α - уголгиба,

A - длина свободного участкагиба в исходном состоянии,

b - ширина заготовки.

С учетом соотношений (9-10) найдем давление необходимое длягиба

$$g = \frac{M_{\text{внутр.}}}{(A - r\alpha)b} \quad (12)$$

Минимальный радиусгиба, при котором заготовка изгибается не разрушаясь, можно установить на основе критерия разрушения Колмогорова:

$$r_{\text{min}} = S \frac{1 - 0.5(1 - \Psi_{\text{ш}})^t}{(1 - \Psi_{\text{ш}})^{t-1}} \quad (13)$$

где $t = -2\sqrt{1 - \mu^2} \exp\left[\frac{-0.72(1 + \mu)}{\sqrt{1 - \mu^2}}\right]$,

$\Psi_{\text{ш}}$ - относительное сужение в момент образования шейки образца при линейном растяжении.

При гибке листовых металлов после снятия внешней нагрузки имеет место значительное перемещение, связанное с упругой разгрузкой металла. Это объясняется наличием разноименных по знаку тангенциальных

напряжений по толщине заготовки. Имеющий место упругий момент разгрузки связан со стремлением растянутых волокон сжаться, а сжатым растянуться. Количественной характеристикой упругой разгрузки является угол пружинения при гибке равный разности между углами инструментальной оснастки и детали:

$$\Delta\alpha = -\alpha_d + \alpha_{ин} \quad (14)$$

Для определения угла пружинения пользуется условием постоянства длин образующих детали под действием внешних сил и после снятия нагрузки

$$\alpha_d \rho_d = \alpha_{ин} \rho_{ин},$$

или

$$\alpha_d = \alpha_{ин} \frac{\rho_{ин}}{\rho_d} \quad (15)$$

В последнем соотношении радиус детали или остаточный радиус находят из уравнения, полученного на основе теоремы Ильюшина А.А. о разгрузке:

$$\rho_d = \frac{\rho_{ин}}{1 - \frac{3}{2+\pi} \frac{K_Q'}{E} \left(\frac{2\rho_{ин}}{S}\right)^{1-n}} \quad (16)$$

где E - модуль упругости.

Соотношения (14 -16) приводятся к виду:

$$\Delta\alpha = \alpha_{ин} \frac{3}{2+\pi} \frac{K_Q'}{E} \left(\frac{2\rho_{ин}}{S}\right)^{1-n} \quad (17)$$

Зависимость (17) является функцией как механических свойств материала, так и геометрических параметров (рисунок 6). Обращает внимание и тот факт, что на величину пружинения оказывает влияние анизотропия свойств. Поэтому необходимо учитывать линиюгиба листа относительно направления прокатки. Если линиягиба совпадает с направлением прокатки, то в выражении 10' следует принять $\mu_{12}\mu_{21} = \mu_{21}^2$, если линиягиба перпендикулярна направлению прокатки, $\mu_{12}\mu_{21} = \mu_{12}^2$.

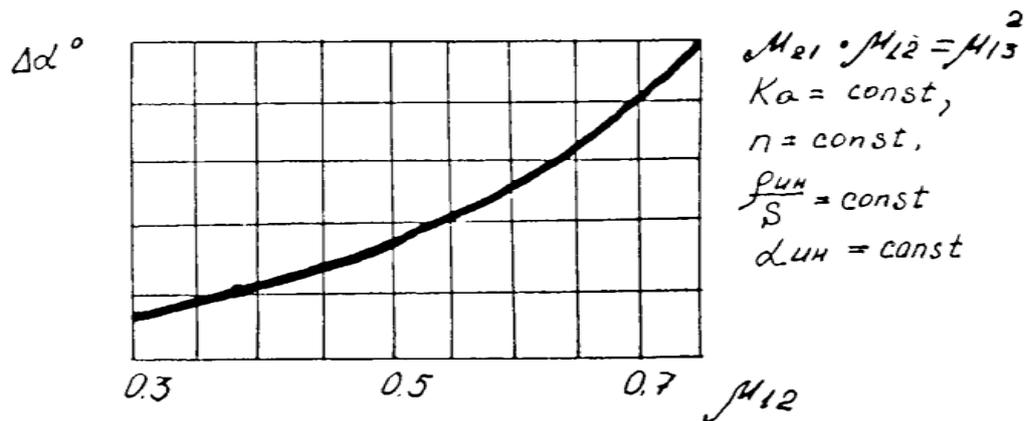


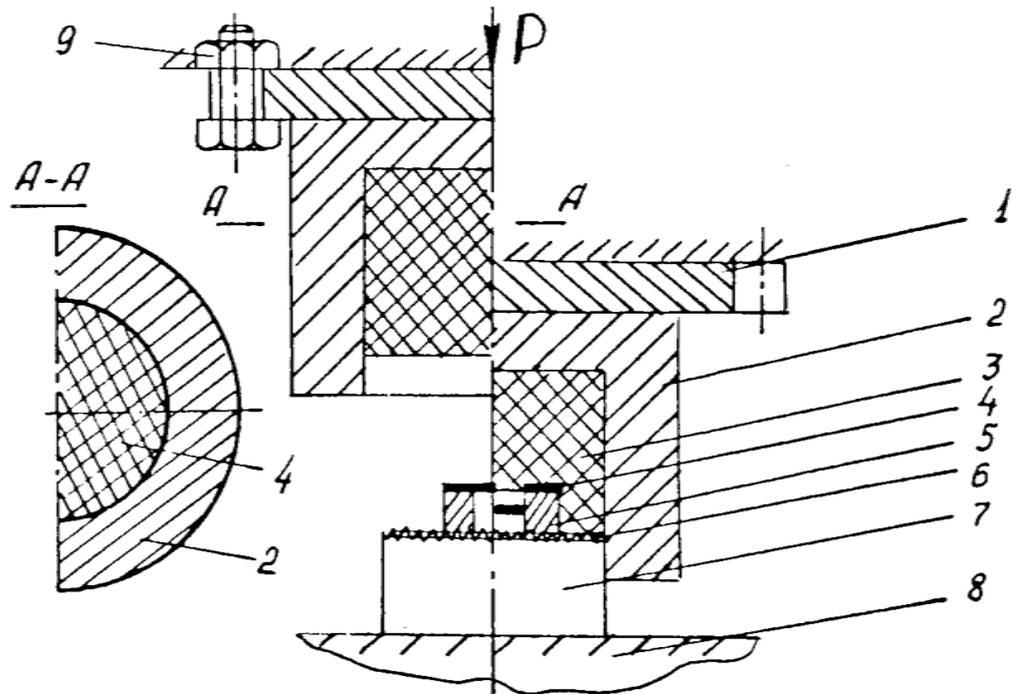
Рисунок 6 - Зависимость угла пружинения от коэффициента анизотропии при линии гибки поперек направления прокатки.

Оборудование, оснастка, материал, инструмент.

Работа выполняется на гидравлическом прессе ПСУ-250. Пресс развивает усилие до 2500 кН.

Холостой ход пресса осуществляется передвижением верхней плиты, включением электродвигателя, рабочий ход - передвижением нижней плиты, которая приводится в действие гидроцилиндром. Ход нижней плиты небольшой 80 мм, поэтому все установочные операции следует проводить перемещением верхней плиты. Усилие пресса снимается по силоизмерителю, имеющему относительную шкалу измерения. Абсолютные значения усилия снимаются по тарифовочному графику.

Схема штамповой оснастки представлена на рисунке 7. Она состоит из контейнера 2, эластичной среды 4, формблока 5, подкладочной плиты 6, подставки 7, подштамповой плиты 8. Контейнер ($\varnothing = 100\text{мм}$) закреплен к верхней плите пресса болтами 9. Подставка 8 центрируется собственным весом.



1- верхняя подштамповая плита, 2 – контейнер, 3- эластичная среда, 4- заготовка, 5- формоблок, 6- подкладная плита, 7- подставка, 8- подштамповая плита

Рисунок 7 Схема штамповой оснастки.

При опускании контейнера 2, подставка 7 входит в контейнер и образует замкнутое пространство, в котором находится формоблок 6 с предварительно установленной на нем заготовкой 4. Смыкание подвижной и неподвижной частей штампа приводит к росту давления эластичной среды, в качестве которой используется полиуретан. Эластичная среда создает равномерное давление по всему объему, образуя внешние силы, действующие на заготовку в операциях вырубki, пробивки, гибки (рисунки 1,3,5). Контейнер должен обладать достаточной прочностью в целях безопасности и выполняется из вязкого и прочного материала. Он должен выдержать с запасом давление $q = P/F$, (где P - усилие прессы, F - площадь сечения контейнера).

Конструкция формблоков позволяет проводить операции вырубki, пробивки и гибки (рисунок 8). Для операции вырубki используются формблоки в виде цилиндра различной высоты (5мм, 10мм, 15мм), для операции пробивки используются кольца одной высоты, но разного диаметра (25мм, 30мм, 50мм). Кромки этих формблоков должны иметь радиус закругления близкий к нулю, т.е. быть достаточно острыми. Для операции гибки используют 2 формблока. Один из них имеет углы гiba 90° с радиусами закругления 1мм, 3мм, 5мм, 8мм, другой формблок имеет для всех четырех углов постоянный радиус инструмента 4мм, но различные углы: 85° , 105° , 75° , 90° , 95° .

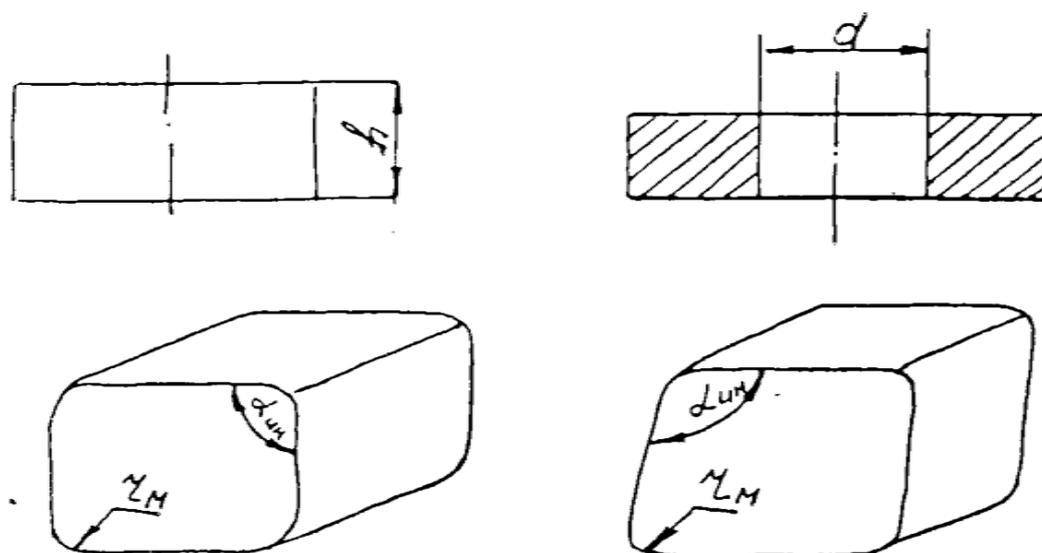


Рисунок 8 - Формблоки для операций вырубki, пробивки, гибки.

Диаметры по наружному контуру формблоков для вырубki, пробивки равны 60мм, размеры формблоков для гибки, имеющих форму параллелограмма 40x40x80 мм.

Материалом заготовки могут быть различные сплавы, листы толщиной 0,5 - 1мм. Размеры заготовок должны обеспечить нормальное протекание процессов. Для операции вырубki размер заготовки должен обеспечить защемление края. Поэтому его диаметр должен быть в пределах 80 - 90 мм. Для операции пробивки наружный диаметр заготовки целесообразно брать

равным наружному диаметру формблока - 60 мм. Размеры в плане заготовок для гибки 60 x 80мм.

Механические характеристики материала (показатель упрочнения - n , коэффициент степенной аппроксимации - Kq , коэффициенты анизотропии μ_{12}, μ_{21}) находятся в справочной литературе или выдаются преподавателем.

В качестве инструмента используются штангенциркуль с ценой деления 0,05 мм и угломер с ценой деления 5 минут.

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы необходимо ознакомиться с устройством и работой гидропресса ПСУ-250.
2. С помощью холостого хода проверяют соосность верхней и нижней половины штампа.
3. На подкладочную плиту последовательно устанавливаются формоблоки для вырубки, пробивки, гибки.
4. Устанавливаются механические характеристики металла: показатели упрочнения: Kq , n , коэффициенты анизотропии.
5. Заготовку и формоблок компануют соответствующим для выбранной операции образом.
6. Проводят для трех заготовок с различными диаметрами формблока (25мм, 30мм, 50мм) операцию пробивки, для других трех заготовок с различными высотами формблока (5мм, 10мм, 15мм) – операцию вырубки, для четырех заготовок операцию гибки.
7. Для операции вырубки, пробивки снимаются усилия деформирования на стадии разрушения с характерным специфичным звуком.

Для операций гибки процесс проводят до момента достижения одного усилия (например 200 кН).

8. Производят замер 8-ми углов детали после гибки с помощью угломера. Рассчитывают угол пружинения, как разность между углами детали и инструмента.
9. Рассчитывают давление для всех операций штамповки из формулы (6).
10. Используя формулы (5), (8), (17), строятся графические зависимости в координатах $q = f(h)$ - для вырубки, $q = f(d)$ - для пробивки, $\Delta\alpha = f(r_n)$, $\Delta\alpha = f(\alpha_{ин})$ - для гибки. Остальные параметры считаются постоянными.
11. Полученные экспериментальные значения откладывают на рисунках, в которых представлены зависимости в координатах $q = f(h)$ - для вырубки, $q = f(d)$ - для пробивки, $\Delta\alpha = f(r_n)$, $\alpha = f(\alpha_{ин})$ - для гибки.
12. Оформляют отчет, в котором должны содержаться: перечень оборудования, оснастки, инструмента, схема штамповой оснастки и технологические схемы операции, расчетные формулы, таблицы замеров (таблица 1, таблица 2).

Таблица 1 - Результаты замеров усилия в операциях вырубки, пробивки.

d(мм)			h(мм)		
25	30	50	5	10	15

Таблица 2 - Результаты замеров угла детали

$r_m \setminus \alpha_{ин}^{\circ}$	75°	85°	90°	95°	105°
1мм					
3мм					
5мм					
8мм					

При замерах физических величин считается, что точность приборов намного превышает требуемую точность замеров. Это позволяет проводить одноразовые измерения

Контрольные вопросы

1. Механизм процессов вырубки, пробивки, гибки с применением эластичной среды?
2. Почему с увеличением диаметра формоблока при вырубке и высоты формоблока при пробивке давление эластичной среды падает?
3. Чему будет равняться давление эластичной среды, если операцию вырубки производить одновременно на двух формоблоках с диаметром отверстия 25мм, 30мм?
4. Чем объяснить разную величину пружинения при гибке широких полос, имеющих линиюгиба вдоль и поперек направления проката?
5. Как влияет величина пластичной деформации на пружинение в процессах обработки металлов давлением вообще и при гибке в частности?
6. Почему в рассмотренных операциях резки с применением эластичной среды невысокое качество реза?