

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТБОРТОВКИ  
ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ

Лабораторная работа № 8

Куйбышев 1978

УДК 621.7.044.7

Составитель

Г.М. Лебедев

Под редакцией доц. Ф.И. Китаева

Утверждена редакционно-издательским  
советом института 6.10.77 г.

Магнитно-импульсная штамповка относится к категории высокоскоростных способов обработки материалов давлением. Применяется она в производстве летательных аппаратов для изготовления листовых и трубчатых деталей из труднодеформируемых алюминиевых, медных и других сплавов. Этим способом могут выполняться разделительные и формообразующие операции (вырубка, пробивка, раздача, обжим, формовка, калибровка), а также операции по созданию неразъемных соединений деталей.

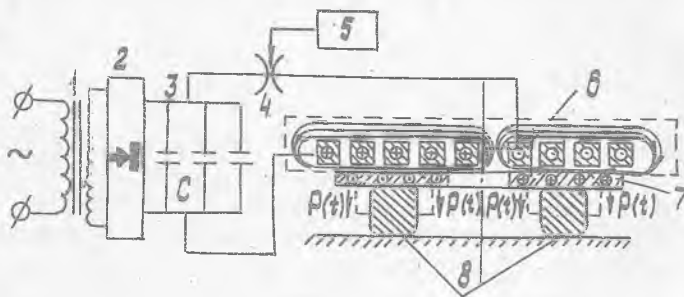
Способ магнитно-импульсной штамповки основан на непосредственном преобразовании накопленной электрической энергии в механическую работу. Механические усилия, необходимые для осуществления деформирования металлической заготовки, возникают в результате взаимодействия проводника (заготовки) с импульсным электромагнитным полем без участия каких-либо промежуточных твердых, жидких или газообразных сред. Силы, вызывающие деформирование, прикладываются к заготовке импульсивно, на время, измеряемое сотыми долями секунды, и производят действие, аналогичное взрыву. Идея о возможности применения энергии импульсного магнитного поля (ИМП) высокой напряженности для технологических целей впервые была высказана советским ученым П.Л. Капицей в 1923 г., но первые опыты по практическому осуществлению магнитно-импульсной штамповки относятся к 1959-1960 гг.

## СУЩНОСТЬ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

При включении установки МИУ (рис.1) в сеть, емкостный накопитель 3 с помощью высоковольтного трансформатора 1 и выпрямителя 2 заряжается до напряжения, заданного регулятором запасе-

2-6186

мой энергии 5. При достижении заданного напряжения на электрод поджигает трехэлектродный разрядник 4 подается высоковольтный поджигающий импульс, который ионизирует пространство между электродами разрядника и вызывает электрический пробой воздушного промежутка между ними. Запасенная в конденсаторах энергия в виде



Р и с. 1. Принципиальная схема установки для магнитно-импульсной штамповки: 1 - высоковольтный трансформатор; 2 - выпрямитель; 3 - емкостный накопитель (батарея конденсаторов); 4 - трехэлектродный разрядник; 5 - регулятор запасаемой энергии; 6 - спираль плоского многovitкового индуктора; 7 - заготовка; 8 - матрица

импульса тока проходит через индуктор 6 и создает вокруг него мощное импульсное магнитное поле, индуктирующее в заготовке 7 вихревые токи (токи Фуко). Вихревые токи и токи в индукторе имеют противоположное направление. Взаимодействие мощного магнитного поля индуктора с вихревыми токами в заготовке и их магнитными полями вызывает механические силы отталкивания, производящие деформирование заготовки по матрице 8.

Таким образом, при штамповке металлов с использованием энергии ИМП роль инструмента ( пуансона или матрицы) выполняет магнитное поле, образующееся вокруг индуктора. Сила воздействия на заготовку пропорциональна количеству энергии, накопленной в конденсаторной батарее. Разряд происходит за 40-50 мкс, поэтому пластическое деформирование происходит мгновенно при электроэнергии огромной мощности. Вследствие этого достигается высокое давление от 500 до 5000 кг/см<sup>2</sup> и более. Длительность магнитного силового импульса во много раз меньше времени деформирования заготовки. Поэтому ИМП непосредственно действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего дальнейшее деформирование заготовки проис-

ходит под действием полученного ею запаса кинетической энергии. В процессе деформирования заготовка под воздействием ИМП получает ускорение в несколько сотен тыс. м/с<sup>2</sup>, развивая к моменту контакта с матрицей скорость 50–300 м/с. В результате воздействия сил инерции и специфики нагружения заготовки внешними силами заметно изменяется напряженно-деформированное состояние заготовки по сравнению с пластическим деформированием в условиях статического нагружения.

## УСТАНОВКА И ИНДУКТОРЫ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

Установка состоит из электрического и технологического блоков, а также блока управления параметрами разряда. Схема установки (рис.1) представляет собой нелинейный контур разряда конденсаторной батареи, так как параметры индуктора (сопротивление  $R_u$  и индуктивность  $L_u$ ) изменяются в процессе разряда.

Ток разряда конденсаторной батареи установки приблизительно выражается уравнением затухающего гармонического колебания

$$j = \frac{U}{L\omega} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \omega t,$$

где  $U$  - напряжение заряда конденсаторной батареи;

$L$  - индуктивность контура разряда;

$\omega = 2\pi\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$  - круговая частота колебаний разрядного тока;

$R$  - активное сопротивление контура разряда;

$t$  - время разряда;

$C$  - емкость конденсаторной батареи;

$f$  - частота разрядного тока.

Характер изменения тока во времени показан на рис.2.

Очевидно, что механические силы (давление магнитного поля) будут тем больше, чем больше амплитуда тока в разрядной цепи  $j$  и чем ближе к индуктору расположена заготовка.

Для обеспечения эффективной работы магнитно-импульсной установки необходимо, чтобы внутренняя индуктивность контура разряда установки  $L_{вн}$  (разрядника, ошиновки, конденсаторной батареи), а также активное сопротивление  $R_{вн}$  были как можно меньше.

Запасаемая в конденсаторной батарее энергия  $E$  расходуется на образование магнитного поля индуктора  $E_u$ , а также на образование паразитных магнитных полей и активные потери в разрядной цепи установки  $E_{пот}$ :

$$E = E_u + E_{пот}.$$

Энергия, запасаемая в конденсаторной батарее, определяется из выражения

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \text{ (мкф кВ=Дж)}.$$

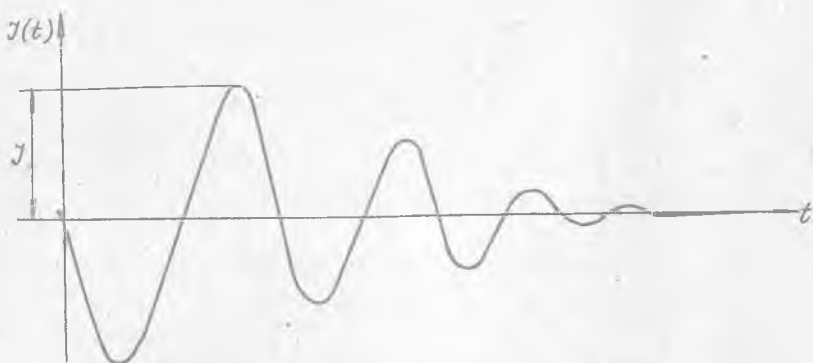
Энергия магнитного поля индуктора

$$E_u = \frac{L_u J^2}{2}.$$

Энергия паразитных магнитных полей и активные потери

$$E_{пот} = \frac{L_{\delta H} J^2}{2} + \int R_{\delta H} J^2 dt.$$

Таким образом, эффективность магнитно-импульсной установки



Р и с.2. Характер изменения тока во времени

тем выше, чем меньше внутренняя индуктивность и активное сопротивление цепи разряда.

Уменьшение индуктивности  $L_{\delta H}$  установки очень важно не только для повышения энергии магнитного поля индуктора, но и для получения достаточно высокой частоты колебаний тока разряда  $f$ , чтобы глубина проникновения поля в заготовку была меньше толщины заготовки.

Индуктор — главный рабочий инструмент МИУ, состоит из токопроводящей спирали, изоляции токопровода и элементов механического усиления. Конструкция, форма рабочей поверхности и размеры

индуктора зависят от назначения и параметров обрабатываемого объекта. Индукторы, в общем случае, подразделяются на постоянные (многоразовые) и разрушающиеся (одноразовые). Стойкость постоянных (многоразовых) индукторов достигает порядка 1-3 тысяч разрядов.

Все технологические процессы, выполняемые с помощью энергии ИМП, по типу применяемых индукторов и оснастки можно разбить на три основные группы: раздача, обжим и плоская штамповка. В настоящей лабораторной работе исследуются процессы плоской штамповки.

К плоской штамповке относятся технологические операции, выполняемые с помощью спирального плоского индуктора. Обрабатываемая листовая заготовка размещается между индуктором и матрицей, имеющей форму штампуемой детали (рис.3, 4).

Механический КПД ИИУ составляет 2-30% и зависит от разных факторов, в особенности от конструкции индуктора и электропроводности заготовки. Для повышения эффективности использования энергии ИМП при штамповке материалов с низкой электропроводностью - жаропрочных хромоникелевых сталей, титановых сплавов, неметаллических материалов - применяются прокладки из алюминиевых и медных сплавов с высокой электропроводностью.

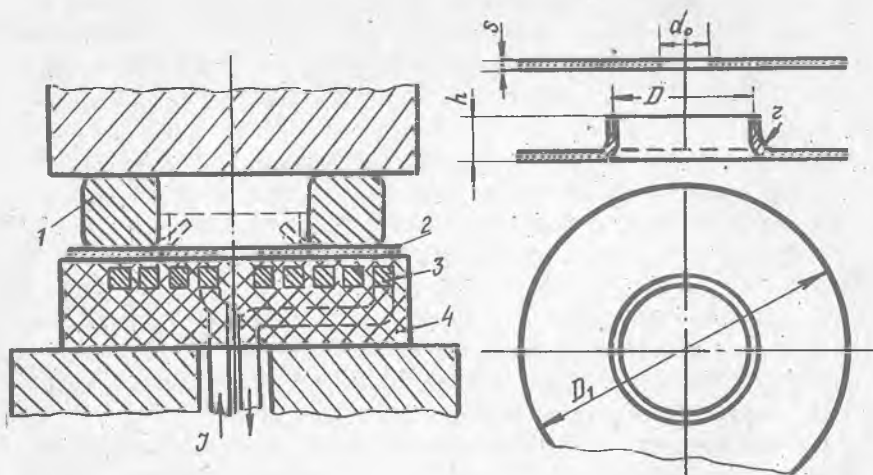
На эффективность процесса большое влияние оказывает величина зазора между индуктором и заготовкой. Наибольшая сила воздействия на заготовку достигается при минимальном зазоре.

### ОТБОРТОЧКА ОТВЕРСТИЯ И НАРУЖНОГО КОНТУРА, С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ИМП

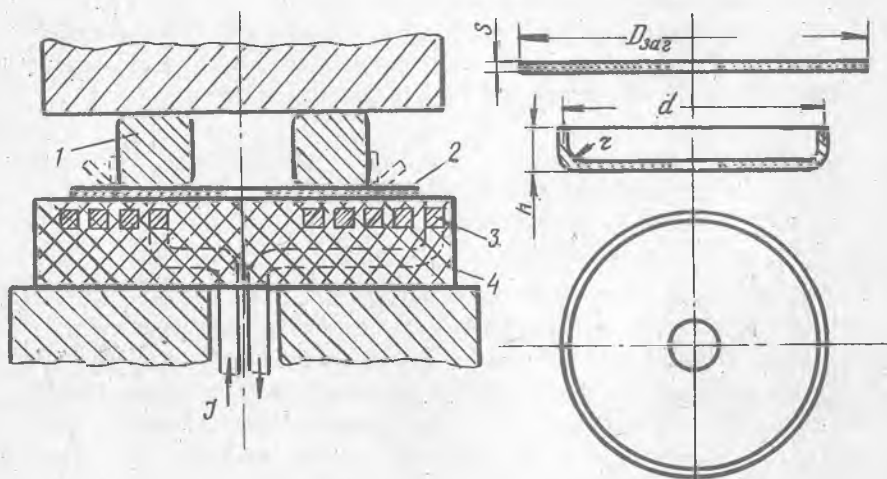
Отбортовкой отверстия называют процесс образования борта вокруг предварительно пробитого отверстия в плоском или полом изделии, производимый за счет растяжения металла (см. рис.3).

Отбортовкой наружного контура называют процесс образования невысокого борта по наружному криволинейному выпуклому (или вогнутому) краю заготовки, производимый за счет сжатия (или растяжения) материала (см. рис.4).

Отбортовка отверстий и наружных контуров широко применяется в производстве летательных аппаратов для повышения жесткости де-



Р и с. 3. Схема процесса отбортовки отверстия с использованием энергии ИМП: 1 - матрица; 2 - заготовка; 3 - спираль индуктора; 4 - корпус индуктора



Р и с. 4. Схема процесса отбортовки наружного контура с использованием энергии ИМП: 1 - матрица; 2 - заготовка; 3 - спираль индуктора; 4 - корпус индуктора



талей, а также для их соединения при помощи сварки или клепки с другими элементами различных конструкций (нервюрами крыла и оперения, перегородками и доньями баков и др.). Характерными деталями, на примере которых выполняется настоящая лабораторная работа, являются фланец и крышка, получаемые соответственно из круглых листовых заготовок отбортовкой отверстия и наружного контура.

Отбортовка отверстий и наружных контуров с помощью энергии ИМП производится на упрощенной штамповочной оснастке по схемам, приведенным на рис. 3 и 4.

В процессе разряда батареи конденсаторов МИУ под воздействием магнитного поля, возникающего в индукторе, участки заготовки, расположенные под отверстием матрицы, или за наружным контуром матрицы отталкиваются от рабочей поверхности индуктора и за счет гибки-формовки принимают вертикальное положение, копируя форму жесткой матрицы. Очагом деформации как в первом, так и во втором случае является деформируемый борт, причем, материал борта находится в плоско-напряженном (растяжение в радиальном и тангенциальном направлениях борта отверстия, растяжение в радиальном и сжатие в тангенциальном направлениях борта наружного контура) и объемно-деформированном состоянии. При отбортовке отверстия материал борта претерпевает утонение, а при отбортовке наружного контура — может несколько и утолщиться. Опасным сечением в первом случае является кромка борта отверстия заготовки. При отбортовке наружного выпуклого контура за счет действия инерционных сил радиально-растягивающее напряжение имеет наибольшую величину у кромки матрицы. Эта зона является опасной и при неблагоприятных условиях отбортовки здесь может произойти разрушение материала заготовки (обрыв борта).

Степень деформации при отбортовке отверстия определяется отношением диаметра отверстия в заготовке  $d_0$  к диаметру борта (по средней линии)  $D$  или, так называемым, коэффициентом отбортовки отверстия

$$K_0 = \frac{D}{d_0} \quad (I)$$

Коэффициент отбортовки наружного контура определяется отношением диаметров средней поверхности отштампованного борта  $d$  к диаметру заготовки  $D_{заг}$

$$K_n = d / D_{заг} \quad (2)$$

Чем больше абсолютное значение  $K_0$  и меньше  $K_H$ , тем большую деформацию претерпевает материал. Коэффициенты  $K_0$  и  $K_H$ , при которых отбортовка происходит с наиболее полным использованием пластических свойств материала, но без образования трещин по краю борта при отбортовке отверстий и без появления неразглаженных складок на поверхности борта, при отбортовке наружных контуров являются предельно допустимыми (оптимальными).

Предельно допустимые коэффициенты  $K_0$  и  $K_H$  находят экспериментальным путем в зависимости от механических свойств испытуемого материала, от относительной толщины заготовки, выраженной отношением  $s/d_0 100$  или  $s/D_{зог} 100$ , от состояния кромок отверстия в заготовке (наличие или отсутствие заусенцев), от относительного радиуса гибки  $- z/s$ .



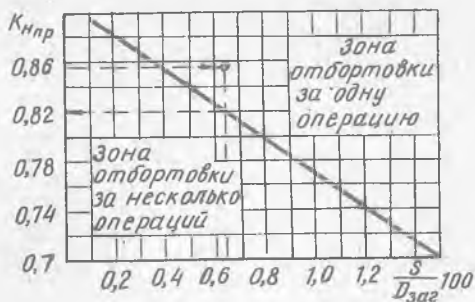
Р и с. 5. Зависимость предельного коэффициента отбортовки отверстия от относительной толщины материала  $K_{опр} = f(s/d_0 100)$  для материалов Д6АМ и АМг6М

При магнитно-импульсной штамповке, сравнивая расчетные значения коэффициентов отбортовки изготавливаемых деталей с предельными коэффициентами отбортовки (рис. 5 и 6), можно определить возможность осуществления отбортовки за один или несколько переходов.

Существенное значение при разработке технологических процессов отбортовки имеет расчет энергетических параметров, а также определение размеров заготовок.

Ц е л ь р а б о т ы: практическое ознакомление с прогрессивным способом обработки материалов давлением с использованием энергии ИМП, определение расчетным путем технологических параметров процесса отбортовки и экспериментальное определение

КПД магнитно-импульсной установки при отбортовке.

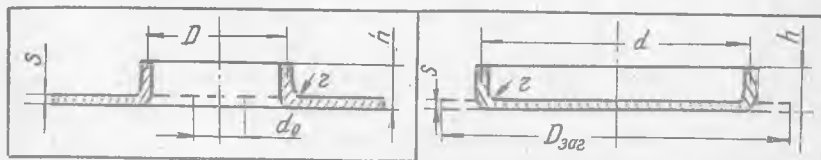


Р и с. 6. Зависимость предельного коэффициента отбортовки наружного контура от относительной толщины материала  $K_{нпр} = f(s/D_{3ag} \cdot 100)$  для материалов Д16АМ и АМГ6М

### ЗАДАНИЕ

1. Рассчитать параметры техпроцесса магнитно-импульсной отбортовки отверстия или наружного контура заданной детали из плоской заготовки.
2. Определить экспериментальным путем КПД магнитно-импульсной установки при отбортовке отверстия диаметром 100мм или наружного контура диаметром 200 мм.

Т а б л и ц а I



Материал деталей - АМГ6М и Д16АМ

Ориентировочные механические характеристики металлов с учетом коэффициентов динамичности: АМГ6М ( $\sigma_{сз} = 40 \text{ кг/мм}^2$ ;  $\sigma_{ог} = 22 \text{ кг/мм}^2$ ;  $\sigma_{рр} = 25\%$ ;  $\psi_{г} = 44\%$ ;  $n_{г} = 0,23$ ;  $K_{г} = 65 \text{ кг/мм}^2$ ); Д16АМ ( $\sigma_{сз} = 25 \text{ кг/мм}^2$ ;  $\sigma_{ог} = 14 \text{ кг/мм}^2$ ;  $\sigma_{рр} = 20\%$ ;  $\psi_{г} = 55\%$ ;  $n_{г} = 0,2$ ;  $K_{г} = 43 \text{ кг/мм}^2$ ).

Размер Вариант	$D$	$h$	$z$	$S$	Размер Вариант	$d$	$h$	$z$	$S$
1	50	10	3	1,0	8	80	11	3	1,0
2	80	14	3	1,0	9	100	13	3	1,0
3	100	18	4,5	1,5	10	120	14	3	1,0
4	120	18	4;5	1,5	11	150	16	4,5	1,5
5	150	20	4,5	1,5	12	180	18	4,5	1,5
6	180	21	4,5	1,5	13	200	20	4,5	1,5
7	200	22	4,5	1,5	14	250	22	4,5	1,5

3. На основании эксперимента уточнить электрические параметры разряда, полученные расчетным путем.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ТЕХПРОЦЕССОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

1. Определение размеров заготовки. Размеры заготовки при отбортовке отверстий и наружных контуров для деталей, приведенных в табл. I, можно достаточно точно определить из условий равенства поверхностей заготовки и готовой детали. Диаметр отверстия под отбортовку определяется по формуле

$$d_o = D - 2(h - 0,432z - 0,72S), \quad (3)$$

где  $D$  - диаметр отбортовки отверстия по средней линии;  
 $h$  - высота борта;  $z$  - внутренний радиус гибки;  
 $S$  - толщина материала заготовки.

Диаметр диска под отбортовку наружного контура рассчитывается по формуле

$$D_{заг} = \sqrt{d^2 + 4dh - 1,72dz_1 - 0,56z_1^2}, \quad (4)$$

где  $z_1 = z + \frac{S}{2}$ ;  $d$  - диаметр отбортовки наружного контура по средней линии;  $h$  - высота борта.

2. Определение степени деформации при отбортовке. Для проверки возможности осуществления отбортовки за одну операцию необ-

ходимо подсчитать потребный коэффициент отбортовки детали по формулам (1) и (2) и сравнить его с предельными. Удобно воспользоваться графиками  $K_{o,op} = f\left(\frac{S}{d_o} 100\right)$ ;  $K_{H,op} = f\left(\frac{S}{D_{3,32}} 100\right)$ , которые получены экспериментально и представлена на рис. 5 и 6. Если  $K_o < K_{o,op}$  и  $K_H > K_{H,op}$  по абсолютной величине в зависимости от  $\frac{S}{d_o} 100$  и  $\frac{S}{D_{3,32}} 100$ , то отбортовки можно производить за одну операцию.

3. Определение энергетических параметров процесса отбортовки ( работы деформации, энергии зарядки емкостного накопителя установки, рабочего напряжения МИУ). Для определения энергетических параметров технологического процесса штамповки листового металла при высокоскоростном деформировании удобно пользоваться энергетическим методом расчета. Полная работа деформации заготовки подсчитывается как произведение удельной работы деформации на весь объем деформированной части заготовки  $A = a_i V$ . (5)

Удельная работа деформации, совершаемая напряжениями при переходе элемента тела единичного объема материала заготовки из недеформированного состояния в деформированное, определяется по формуле

$$a_i = \frac{K}{1+n} e_i^{1+n}, \quad (6)$$

где  $K$  и  $n$  - постоянные для данного материала величины, характеризующие интенсивность упрочнения (значения при расчете взять из табл. I);  $e_i$  - интенсивность деформаций.

При практических расчетах, когда схема деформационного состояния близка к плоской или одноосному растяжению (отбортовка отверстия и наружного контура), можно считать, что интенсивность деформации близка к наибольшей деформации, т.е.:

$e_i = e_1$ , а так как обычно в различных участках штампуемых деталей величина деформации имеет разное значение, то при расчете удельной работы деформации по формуле (6) необходимо пользоваться средними величинами  $e_{i,ср}$  или  $e_{i,ср}$ .

Для расчета работы деформации флянца и крышки объем деформированной части каждой детали условно разделяется на два участка: цилиндрический кольцевой участок борта, материал которого

претерпевает деформацию растяжения - раздачу при отбортовке отверстия и деформацию сжатия - посадку при отбортовке наружного контура, и кольцевой участок с торовой поверхностью на стыке стенки и борта детали, материал которого претерпевает изгиб. Среднюю интенсивность деформации растяжения и сжатия материала борта соответственно при отбортовке отверстия и наружного контура определяют по формуле

$$e_{i\text{cp}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{R}{h} \ln \frac{R}{R+h} + 1 \right), \quad (7)$$

где  $R = \frac{d\sigma - S}{2}$  - для отбортовки отверстия при раздаче материала борта;

$R = \frac{D_{\text{зае}} - S}{2}$  - для отбортовки наружного контура при посадке материала борта.

Объем деформируемого материала подсчитывают по формулам  $V = \pi D S h$  - для отбортовки отверстия при раздаче материала борта и

$V = \pi d S h$  - для отбортовки наружного контура при посадке материала борта.

Величину средней деформации при гибке заготовки на кромке матрицы при отбортовке отверстия и наружного контура определяют по формуле

$$e_{i\text{cp}} = \frac{S}{4(z + S/2)}. \quad (8)$$

Объем деформируемого материала изгибаемого участка заготовки подсчитывают по формулам

$$V = \frac{\pi}{2} \left[ \pi D \left( z + \frac{S}{2} \right) + 2,28 \left( z + \frac{S}{2} \right)^2 \right] S$$

- при отбортовке отверстия - раздаче материала борта;

$$V = \frac{\pi}{2} \left[ 2\pi (d - 2z - S)z + \theta \left( z + \frac{S}{2} \right)^2 \right] S$$

- при отбортовке наружного контура - посадке материала борта.

Затем последовательно по формуле (5) и (6) определяются величины удельной работы деформации -  $a_i$ , величины работы деформации отбортовки -  $A_{\text{отб}}$ , гибки -  $A_{\text{губ}}$  и суммируются  $A = A_{\text{отб}} + A_{\text{губ}}$ , кгм.

Величину потребной энергии зарядки батареи конденсаторов установки подсчитывают по формуле

$E = \frac{A(\text{кдж}) \cdot 9,8}{\eta}$ , Дж, а рабочее напряжение уста-

новки - по формуле:

$$U = \sqrt{\frac{2E(\text{дж})}{C(\text{мкф})}}, \text{ кВ,}$$

где  $C$  - емкость конденсаторной батареи МИУ (взять  $C = 86$  мкф);

$\eta$  - механический коэффициент полезного действия установки.

При отбортовке многовитковыми индукторами на МИУ-20, МИУ-40 экспериментально установлено  $\eta = 6,5 - 14\%$ .

### ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

Для проведения экспериментальных исследований могут быть использованы установки: МИУ-20 ( $W_{max} = 20$  кДж;  $U_{max} = 21$  кВ;  $C = 86$  мкф;  $L_{ycm} = 0,126$  мкГн) и МИУ-40 ( $W_{max} = 40$  кДж;  $U_{max} = 10$  кВ;  $C = 86$  мкф;  $L_{ycm} = 0,15$  мкГн). Основные узлы МИУ - зарядное устройство, батарея конденсаторов, разрядное устройство, ошиновка, блок управления или поджига, система защиты и блокировок. Запасаемая энергия регулируется задатчиком. Контроль напряжения зарядки батареи конденсаторов производится вольтметром.

В качестве инструмента для отбортовки используется стальная матрица с наружным диаметром 200 мм или с отверстием диаметром 100 мм (радиусы ребра матрицы  $r_m = 4,5$  мм), а также плоский многовитковый индуктор. Для прижима заготовки к матрице и индуктору применяется зажимное приспособление, которое устанавливается на столе МИУ.

Замеры толщины заготовок и стенок отформованных деталей производятся с помощью спецприспособления с индикаторными часами.

Учитывая, что к работе на МИУ могут быть допущены лица, сдавшие техминимум по эксплуатации высоковольтных установок (IV группа), эксперименты по магнитно-импульсной штамповке студенты должны выполнять с оператором-электриком. При этом все работы, связанные с подготовкой образцов и их метрологическими исследованиями, выполняют студенты, а подготовку установки к работе, выполнение рабочего разряда и "обесточивание" узлов установки - оператор.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕХАНИЧЕСКОГО КПД УСТАНОВКИ ПРИ  
ОТБОРТОВКЕ

1. Ознакомиться с конструкцией МИУ, правилами ее эксплуатации и требованиями техники безопасности (данные материалы приведены в паспорте установки).
2. Получить у лаборанта три заготовки в виде колец для проведения исследования с наружным диаметром 232 мм и отверстием диаметром 70 мм из материала Д16АМ толщиной 1,5 мм. Проверить маркировку материала, диаметры отверстий и диаметры наружных контуров.
3. Пронумеровать заготовки цифрами 1, 2, 3 и измерить толщину исходных заготовок; замеры толщины занести в протокол исследования.
4. Заготовку и матрицу (с  $D_{\text{отб}} = 100 \text{ мм}$ ,  $z_M = 4,5 \text{ мм}$  или  $d_{\text{н.к}} = 200 \text{ мм}$ ;  $z_M = 4,5 \text{ мм}$ ) установить на индуктор по центровочной бобышке и произвести прижим к плоскости индуктора в зажимном приспособлении.
5. Определение оптимальной потребной энергии отбортовки вести опытным путем на трех образцах методом подбора, задаваясь энергией формообразования. Энергию зарядки для формовки первого образца ориентировочно взять из расчета варианта 3 или 13 табл. I. Величины  $U$  и  $C$  для штамповки первого образца внести в задание оператору установки. Влияние количества подведенной энергии на качество отбортовок оценивать визуально. В случае неполной штамповки борта первого образца, энергию МИУ для штамповки второго и третьего образцов следует увеличить на одно деление шкалы задатчика и наоборот, если борт не прилегает к поверхности матрицы и на его кромке видна светлая полоска, т.е. борт ударился о матрицу и отскочил, энергию штамповки следующих образцов следует уменьшить на одно деление шкалы задатчика. Таким образом, экспериментально определяется величина потребной энергии отбортовки.
6. Оператору подготовить МИУ к работе, произвести рабочие разряды по заданию студентов - исследователей, обесточить узлы установки.



7. Механический КПД определить по формуле  $\eta = \frac{A_{(кВт)} 9,8}{E} 100\%$ .

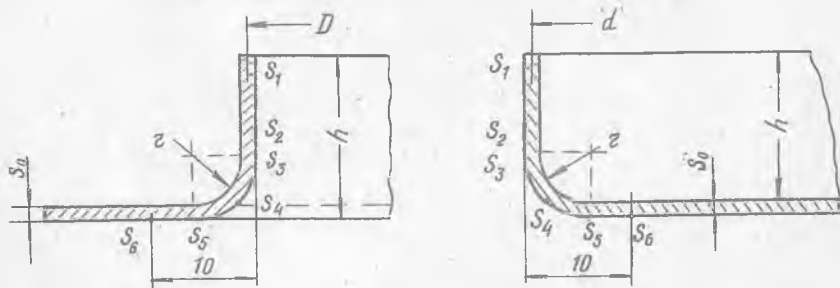
Работу деформации - А брать расчетную, а величину оптимальной потребной энергии - Е из эксперимента. Подтченый КПД сравнить с используемым в расчете.

8. Измерить толщину борта, стенки и радиусных переходов на детали, отштампованной при оптимальной энергии. Измерение толщины борта производить в трех точках : у края борта, по середине высоты  $h$  и у радиуса перехода ( $S_1, S_2, S_3$ ). Толщину стенки измерить у радиуса перехода и на расстоянии 10 мм от радиуса перехода ( $S_5, S_6$ ). Толщину стенки в радиусном переходе измерить в средней его точке ( $S_4$ ) (рис.7).

9. Подсчитать относительное утонение борта и стенки детали в процентах на основании выполненных замеров и найти опасное сечение. Утонение подсчитывается по формуле  $\Delta S\% = \frac{S_0 - S_i}{S_0} 100\%$ ,

где  $S_0$  - толщина заготовки до деформации;

$S_i$  - толщина заготовки после деформации.



Р и с.7. Схема замера толщины отштампованных деталей

10. Определить утонение в опасном сечении на других двух образцах и дать оценку зависимости утонения в опасном сечении от величины подведенной энергии при отбортовке.

II. Уточнить параметры электрического разряда с учетом механического КПД, полученного экспериментальным путем. Произвести определение потребной энергии зарядки и рабочего напряжения установки.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема установки ( см. рис.1), эскиз заданной детали со всеми размерами.
2. Формулы расчета параметров техпроцессов магнитно-импульсной штамповки.
3. Результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований ( в таблице).
4. Эскиз сечения отштампованного образца с указанием толщины материала в исследуемых точках ( см. рис.7).
5. В ы в о д ы.

### К о н т р о л ь н ы е      в о п р о с ы

1. Чем вызвана необходимость разработки и промышленного применения высокоскоростных способов штамповки?
2. Сущность процесса магнитно-импульсной штамповки.
3. Области применения данного метода. Чем вызваны трудности обработки металлов и сплавов с плохой проводимостью?
4. Какое влияние оказывает на процесс отбортовки коэффициент отбортовки  $K_0$  и  $K_H$ ? Какие факторы влияют на величину  $K_{op}$ ?
5. Какое влияние оказывает на процесс отбортовки и качество деталей величина подведенной энергии?
6. Какие принципы положены в основу определения размеров заготовок при отбортовке?
7. Какие факторы влияют на величину КПД установки?
8. Как рассчитывается работа деформации при отбортовке и энергии штамповки?
9. Как определить экспериментальным путем механический КПД установки при штамповке деталей?
10. Рассказать о конструкции магнитно-импульсной установки для штамповки листовых деталей.
- II. Какие основные правила техники безопасности необходимо соблюдать при эксплуатации МИУ?

## Л и т е р а т у р а

Высокоскоростное деформирование металлов. Сб. статей под ред. А.М. Шахназарова. М., "Машиностроение", 1966.

Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М., "Машиностроение", 1970.

Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М., "Машиностроение", 1971.

Сапаровский С.В., Смеляков Е.П. и др. Новые способы холодной штамповки. Куйбышевское книжное издательство, 1969.

Составитель Геннадий Михайлович Лебедев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТБОРТОВКИ  
ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ

Лабораторная работа № 8

Редактор И.М.Чулкова  
Техн. редактор Н.М.Календик  
Корректор Л.М.Соколова

Подписано в печать 26.07.78. Формат 60x84 1/16.  
Бумага оберточная белая. Offsetная печать.  
Усл.п.л. 1,16. Уч.-изд.л. 0,98. Тираж 1000экз.  
Заказ № 6186 Бесплатно

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. В.П.Мяги,  
г.Куйбышев, ул. Венцека, 60.