

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Лабораторная работа № 7

КУЙБЫШЕВ 1978

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Лабораторная работа № 7

К у й б ы ш е в 1 9 7 8

УДК 621.983.044.4

Составитель Е.П. С м е л я к о в

Под редакцией доц. Ф.И. К и т а е в а

Утверждена редакционно-издательским
советом института 6.10.77 г.

В конструкциях современных летательных аппаратов имеется много высокоточных деталей сложной формы из листовых нержавеющей и жаропрочных сталей, а также из высокопрочных сплавов на алюминиевой, титановой, магниевой и других основах. Изготовление таких деталей традиционными методами холодной штамповки весьма затруднительно, а иногда и невозможно. Поэтому для их изготовления потребовались принципиально новые технологические решения. К ним в первую очередь, необходимо отнести способы высокоскоростной штамповки. Одним из таких способов является электрогидроимпульсная штамповка. Этот способ основан на использовании энергии мощного электрического разряда в жидкости. Идея применения так называемого электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) для технологических целей впервые была предложена советским инженером Л.А. Юткиным (1950).

СУЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

При импульсном электрическом разряде в жидкости, непосредственно в зоне канала разряда, за счет испарения и приведения в состояние плазмы некоторого объема жидкости образуется "паровой пузырь". Температура плазмы внутри пузыря достигает десятков тысяч градусов, давление - до нескольких тысяч атмосфер. Внезапное увеличение объема вызывает в окружающей жидкости ударную волну, которая, распространяясь со звуковой скоростью, встречает на своем пути заготовку и передает ей часть своей энергии. Канал разряда, расширяясь, приводит в движение присоединенный к нему столб жидкости, энергия которого также подводится к заготовке, но с некоторым запозданием по сравне-

нию с ударной волной. Постепенно, по мере расширения канала разряда, давление внутри пузыря падает и становится значительно меньше гидростатического. Затем под действием гидростатического давления происходит обратное движение жидкости — пузырь начинает сжиматься. При захлопывании полости давление газа в ней резко возрастает — жидкость вновь оттекает к стенкам разрядной камеры и процесс повторяется в виде затухающих пульсаций.

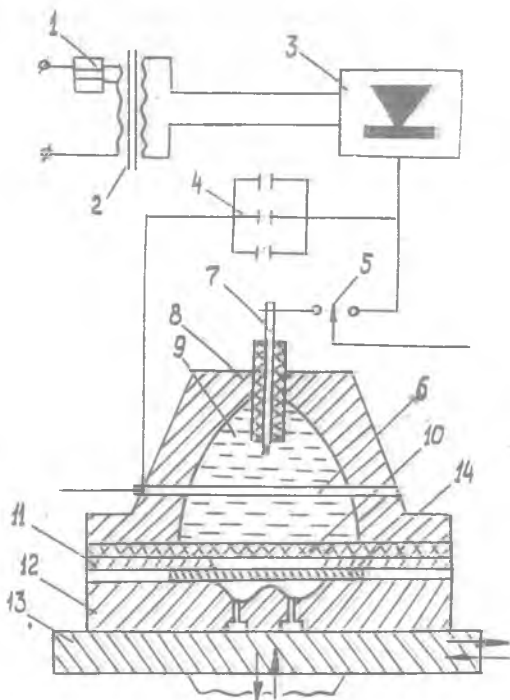
УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

Установка состоит из электрического и технологического блоков, а также блока управления параметрами разряда (рис.1). Технологический блок состоит из разрядной камеры 8, заполненной водой 9, эластичной (резиновой) диафрагмы 10, прижима 11 и матрицы 12. Последняя фиксируется на столе 13, который имеет возможность перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Листовая заготовка 14 устанавливается на матрице и поджимается столом к прижиму, закрепленному к разрядной камере.

Блок управления включает систему дистанционного управления с комплексом контрольно-измерительной аппаратуры. С его помощью решается задача получения стабильных параметров работы установки, а также обеспечивается безопасность ее эксплуатации.

Энергией электрического разряда в жидкости можно выполнять разделительные, формообразующие и калибровочные операции холодной листовой штамповки. Определение параметров технологических процессов электрогидроимпульсной штамповки сводится к расчету величины электрической энергии накопителя установки, необходимой для выполнения данной операции, напряжения электрического разряда и емкости накопителя установки, а также количества рабочих разрядов.

Ц Е Л Ь Р А Б О Т Ы: практическое ознакомление с электрогидроимпульсным способом деформирования материала, теоретическими расчетами и экспериментальной проверкой параметров технологических процессов формовки деталей из листовых заготовок.



Р и с.1. Принципиальная схема установки для электрогидроимпульсной штамповки: 1 - предохранитель и переключатель напряжения; 2 - повышающий трансформатор; 3 - выпрямитель; 4 - батарея конденсаторов; 5 - разрядник с иницилирующим электродом; 6 - 7 - электроды; 8 - разрядная камера; 9 - жидкая среда (вода); 10 - резиновая диафрагма; 11 - прижим; 12 - матрица; 13 - стол прессы (подштамповая плита); 14 - листовая заготовка

З а д а н и е

I. Расчитать параметры техпроцесса электрогидроимпульсной формовки детали, форму и размеры которой взять из таблицы (рис.2).

2. Определить экспериментальным путем коэффициент преобразования энергии при электрогидроимпульсной формовке.

Форма детали



Материал деталей - АМГ6М

$\sigma_B = 33 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_T = 16,5 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_D = 20\%$; $\psi = 40\%$; $n = 0,23$;
 $K = 57,4 \text{ кг/мм}^2$

Размер Вариант	D_0 , мм	R , мм	y , мм	R_0 , мм	S_0 , мм
1	150	98	35	35	1,0
2	236	154	55	55	1,2
3	262	171	61	61	1,5
4	322	230	75	75	1,8
5	430	280	100	100	2,0

Р и с.2. Форма и размеры формируемых деталей

3. Уточнить электрические параметры и количество рабочих разрядов, полученных расчетным путем.
4. Оформить отчет.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ
 ТЕХПРОЦЕССОВ ЭИИ

1. Определение размеров заготовки. Изготовление деталей,

приведенных на рис.2, производится с помощью операции формовки. В этом случае форма детали образуется за счет утонения материала в очаге деформации без перетяжки материала из фланца заготовки. Диаметр заготовки рассчитывается по формуле

$$D_3 = D_0 + 2a \quad \text{мм}, \quad (1)$$

где $a = 0,2 D_0$ — ширина фланца заготовки, зацементированного между матрицей и прижимом.

2. Расчет количества операций формовки. Количество операций формовки определяется, исходя из условия получения готовой детали с толщиной материала, укладывающейся в требования технических условий (ТУ). Обычно при изготовлении деталей типа дна ТУ устанавливает конечную толщину материала в центральной зоне детали $S_{1\text{пред}} \approx 0,75 S_0$. Поэтому при проверке возможности изготовления деталей за одну операцию необходимо выполнять условия

$$S_1 \geq S_{1\text{пред}}. \quad (2)$$

Процесс формовки дна сопровождается равномерным двухосным растяжением, при котором остаточная толщина материала детали определяется по формуле

$$S_1 = S_0 e^{-2\varepsilon_{cp}}, \quad (3)$$

где ε_{cp} — осредненная деформация по сечению отформованной детали, $\varepsilon_{cp} = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$;

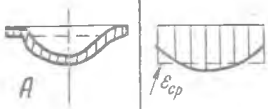

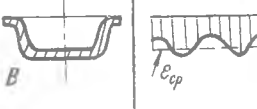
L_0 и L_1 — начальная и конечная длина образующей детали.

Окончательный вид формулы для расчета ε_{cp} деталей, включенных в задания, приведены в таблице на рис.3.

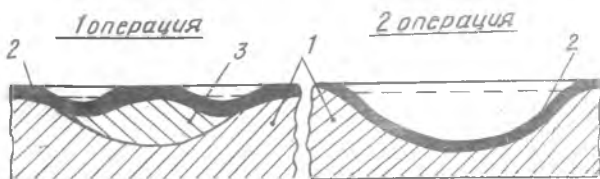
При невыполнении условия (2) формовку детали необходимо производить за две операции, используя схему реверсивной штамповки (рис.4). В этом случае опасное сечение — центр формируемой детали — на первой операции будет заблокировано силами трения и условие (2) после "выворота" средней части детали на второй операции будет выполнено.

3. Расчет работы деформации при формообразовании. Работа деформации при формовке осесимметричных дна определяется произведением объема деформированного материала на удельную работу, затраченную на деформацию (ε_{cp}) единичного объема материала детали. Удельная работа, в свою очередь, рассчитывается пу-

тем интегрирования экспериментальной кривой, выражающей зависимость $\sigma - \epsilon$, полученной при испытании на растяжение образцов из данного материала. Для аналитических расчетов эта кривая аппроксимируется степенной функцией в виде $\sigma = K \epsilon^n$, где K и n - константы деформируемого материала (приведены в таблице на рис.2). Пределы интегрирования принимаются от 0 до $\epsilon = \epsilon_{ср}$. Формулы для определения работы деформации A , после соответствующих преобразований, приведены в таблице на рис. 3.

Форма детали	Распределение деформаций по сечению детали	Осредненная деформация $\epsilon_{ср}$	Работа деформации при формообразовании детали, $KГМ$
 <p>А</p>	$\epsilon_{ср} = \sqrt{1 + 5,33 \left(\frac{y}{D_0}\right)^2}$	$A = 2\pi R y S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) \epsilon_{ср}^{-2\epsilon_{ср}^{n+1}} \epsilon_{ср}^{n+1}$	
 <p>Б</p>	$\epsilon_{ср} = \sqrt{1 + \left(\frac{y}{R_0}\right)^2} - 1$	$A = \pi R_0^2 \sqrt{1 + \left(\frac{y}{R_0}\right)^2} S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) \epsilon_{ср}^{-2\epsilon_{ср}^{n+1}} \epsilon_{ср}^{n+1}$	
 <p>В</p>	$\epsilon_{ср} = \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \frac{R_1}{R_0}$	$A = \pi (R_0^2 + 1,14 R_0 R_1 - 2,14 R_1^2) S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) \epsilon_{ср}^{-2\epsilon_{ср}^{n+1}} \epsilon_{ср}^{n+1}$	

Р и с.3. Формулы для расчета работы и осредненной деформации



Р и с.4. Схема реверсивной штамповки: 1 - матрица; 2 - заготовка; 3 - вкладыш

4. Выбор коэффициента преобразования энергии при электроимпульсной формовке. Коэффициент преобразования энергии η учитывает долю электрической энергии, используемую на выполнение полезной работы пластической деформации заготовки.

Величина η зависит от собственных электрических параметров установки, мгновенной мощности разряда, взаиморасположения рабочих электродов и заготовки, конструкции разрядной полости, а также вида выполняемой операции геометрии и физико-механических свойств деформируемого материала. Коэффициент преобразования энергии обычно определяется экспериментальным путем. По статистическим данным для установки, смонтированной в лаборатории кафедры "Производство летательных аппаратов", при выполнении операции формовки днищ он равен $\eta = 0,05 + 0,15$. Меньшие значения принимаются для заготовок с относительной толщиной

$\frac{S_0}{D} 100 > 1,0$ или из материала $\sigma_B > 50 \text{ кг/мм}^2$. больше

$\frac{S_0}{D} 100 < 1,0$ и $\sigma_B < 50 \text{ кг/мм}^2$.

5. Определение величины электрической энергии и параметров разряда установки. Величина энергии $E_{расч}$, запасаемая в конденсаторах установки, которую необходимо затратить для формообразования заданной детали, определяется по формуле

$$E_{расч} = \frac{A 9,8}{\eta} \quad (4)$$

Параметры электрического разряда - напряжение и емкость - можно найти из выражения $E = \frac{C U^2}{2}$, где C - емкость накопителя (батареи конденсаторов), мкф; U - напряжение разряда, кВ. Для этого задаемся емкостью накопителя:

$C = C_{кон} K$ - для параллельно соединенных конденсаторов;

$C = C_{\text{кон}} \frac{1}{K}$ - для последовательно соединенных конденсаторов;

где $C_{\text{кон}}$ - емкость одного конденсатора, мкф;
 K - количество конденсаторов в накопителе установки.

Установка для ЭПМ, смонтированная на кафедре "Производство летательных аппаратов", имеет накопитель энергии, состоящий из десяти параллельно соединенных конденсаторов, емкость 3 мкф каждый и рабочим напряжением до 50 кВ.

Принимая $E = E_{\text{расч}}$, определим напряжение электрического разряда

$$U = \sqrt{\frac{2 E_{\text{расч}}}{C}} \text{ кВ.} \quad (5)$$

При расчете параметров разряда необходимо учитывать, что U_{max} установок обычно не превышает 50 кВ, а емкость накопителя - 30 мкф, т.е. максимальная величина энергии одного разряда $E_{\text{max}} = 37,5$ кДж. В случае $E_{\text{расч}} > E_{\text{max}}$ нужно последовательно выполнить несколько электрических разрядов

$$m = \frac{E_{\text{расч}}}{E_{\text{max}}} + 1. \quad (6)$$

Дополнительный разряд необходимо производить для окончательной калибровки отформованной детали.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

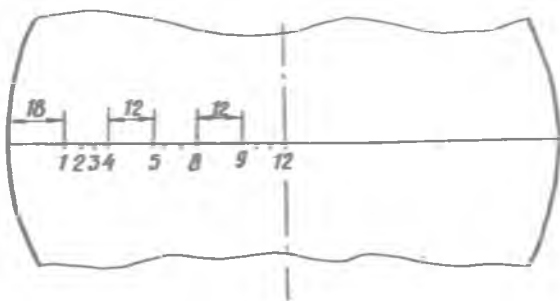
Установка для проведения экспериментальных исследований может работать при напряжении $U_{\text{max}} = 50$ кВ и емкости накопителя в пределах $C = 3 - 30$ мкф (10 конденсаторов по 3 мкф). К работе на установке могут быть допущены лица, сдавшие минимум по эксплуатации высоковольтных установок (IУ группа), эксперименты по электрогидроимпульсной штамповке студент должен выполнять совместно с оператором-электриком. При этом все работы, связанные с подготовкой образцов и их метрологическими исследованиями, выполняет студент, а подготовку установки к работе, выполнение рабочего разряда и "обесточивание" узлов установки - оператор.

В качестве инструмента для исследования свободной формовки

деталей типа днаде используется кольцевая вытяжная матрица с диаметром внутреннего проема 120 мм. Для измерения напряжения разряда применяется статический киловольтметр С-96. При метрологических исследованиях толщина материала отформованной детали измеряется с помощью скобы с индикаторной головкой, глубина формовки - штанген-рейсмусом, расстояние между рисками - измерительным микроскопом. Для разметки на заготовках диаметральных линий применяется штанген-циркуль.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией установки для электрогидроимпульсной штамповки, правилами ее эксплуатации и требованиями техники безопасности (данные материалы приведены в паспорте установки).
2. Получить у лаборанта заготовку диаметром 120 мм из материала АМГ6М х.1,0 (проверить маркировку материала, диаметр и толщину заготовки).
3. Начертить остро отточенным карандашом (твердость - 2Н) на заготовке диаметральною линию и нанести на ней риски через каждые $b_0 = 2,0$ мм (см. рис.5).

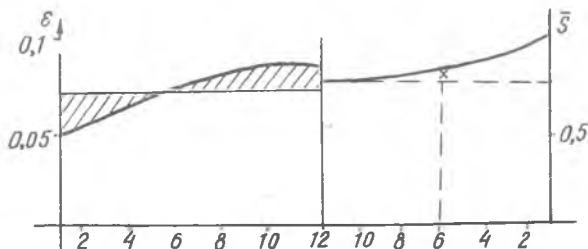


Р и с. 5.Схема разметки заготовки

4. Измерить в точках 1, 4, 5, 8, 9 и 12 толщину исходной заготовки и расстояние между рисками b_0 ; замеры за-

нести в протокол исследования.

5. Задаваясь энергией формообразования $E = 3; 6$ или 12 кДж и емкостью накопителя $C = 3; 6$ или 12 мкФ, рассчитать по формуле (5) напряжение разряда. Величины C и U внести в задание оператору установки.
6. Установить заготовку на матрице по шаблону, разметкой вниз и закрепить под разрядной головкой прессы (порядок работы см. в паспорте установки).
7. Оператору подготовить установку к работе; произвести рабочий разряд по заданию студента-исследователя; обесточить узлы установки.
8. Измерить глубину формовки полученных деталей U , расстояние между рисками b_k и толщину материала заготовки S_{i3} в отмеченных точках.
9. Рассчитать степень деформации для отмеченных участков деталей по формуле $\varepsilon_{i3} = \frac{b_k - b_0}{b_0}$, где b_0 и b_k - исходное и конечное (после деформирования детали) расстояние между рисками.
10. Построить график изменения степени деформации по сечению детали; определить приблизительно $\varepsilon_{ср3}$ (рис.6).



Р и с.6. График изменения степени деформации ε и относительной толщины материала S по сечению детали

11. Определить относительную толщину материала детали в отмеченных точках $\bar{S}_{i3} = \frac{S_{i3}}{S_0}$.
12. Рассчитать теоретическую величину относительной толщины

материала детали в точках I, 6 и I2 по формуле $-\bar{S}_{i,p} = e^{-2\epsilon_{i,3}}$.

I3. Построить график изменения относительной толщины материала $\bar{S}_{i,3}$ по сечению детали; нанести на график расчетные значения $\bar{S}_{i,p}$ (см. рис.6); проанализировать точность совпадения расчетных и экспериментальных значений относительных толщин материала $-\Delta = \frac{S_{i,p} - S_{i,3}}{S_{i,3}} \cdot 100\%$.

I4. По формуле, приведенной в таблице на рис.3 произвести расчет работы деформации; при этом профиль детали принять сферический (форма А) с $R = \frac{R_0^2 + y^2}{2y}$, мм.

I5. Определить коэффициент преобразования энергии при ЭГШ

$$\eta = \frac{A_{г,в}}{E}$$

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХПРОЦЕССОВ ЭГШ

Произвести определение энергии накопителя, согласно методике и уточнить параметры электрического разряда с учетом коэффициента преобразования энергии, полученного экспериментальным путем.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема установки (см. рис.1), эскиз заданной детали со всеми размерами, (приводятся в бланке отчета).

2. Формулы расчета параметров техпроцессов ЭГШ, графики распределения степени деформации и толщины материала отформованной детали (см.рис.6), (приводятся в бланке отчета).

3. Оформить таблицы, результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. В чем заключается сущность процесса электрогидроимпульсной штамповки?

2. В каком районе заготовки и по каким причинам образуется

"опасное сечение" при электрогидроформовке деталей типа днищ?

3. Какова методика расчета параметров процесса ЭГШ?
4. Какие принципы положены в основу расчета работы деформации при формообразовании детали?
5. Как определить экспериментальным путем коэффициент преобразования энергии при ЭГШ?
6. Рассказать о конструкции установки для электрогидроимпульсной штамповки, смонтированной на кафедре ПЛА.
7. Какие основные правила техники безопасности необходимо соблюдать при эксплуатации установок для ЭГШ?

Л и т е р а т у р а

Г о р б у н о в М.Н. "Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М., "Машиностроение", 1970.

С а п а р о в с к и й С.В., С м е л я к о в Е.П. и др. Новые способы холодной штамповки. Куйбышевское книжное издательство, 1969.

С т е п а н ч е н к о В.А. и др. Технический прогресс в самолетостроении. М., "Машиностроение", 1975.

С т е п а н о в В.Г., Ш а в р о в И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. Л., "Машиностроение", 1975.

Составитель Евгений Петрович Смеляков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Лабораторная работа № 7

Редактор И. Ч у л к о в а

Техн. редактор Н. К а л е н ю к

Корректор Л. С о к о л о в а

Подписано к печати 27.7.78 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная белая. Офсетная печать.

Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд. 0,9. Тираж 1000 экз.

Заказ № 6185 , Бесплатно.

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

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