

УДК 621.7.044

Я.С. ЖОВНОВАТЮК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ ВЫРУБКЕ ОТВЕРСТИЙ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

Рассмотрены предшествующие исследования перфорирования отверстий способом электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) и определена область дальнейшего изучения. Представлена схема пробивки отверстий с использованием вспомогательных пуансонов. Проведены экспериментальные исследования перфорирования отверстий в листовых деталях с использованием указанной оснастки. Выявлена возможность применения данной оснастки для изготовления отверстий с диаметром, сравнимым с толщиной детали. Определено давление, необходимое для выполнения перфорирования отверстий. Получена эмпирическая формула расчета необходимого давления в зависимости от механических свойств материала детали и геометрии перфорируемых отверстий. Определена максимальная площадь поверхности детали, используемая для пробивки единичного отверстия. Определена эмпирическая связь между параметрами перфорируемых отверстий и технологическими режимами электрогидравлического прессы.

Ключевые слова: перфорирование, оснастка, пуансон, необходимое давление, эффективная площадь нагружения.

Введение

В общем и авиационном машиностроении существует довольно большая номенклатура листовых деталей, конструктивной особенностью которых является большое количество отверстий, расположенных на небольшом участке общей площади детали. К таким деталям можно отнести крышки агрегатов с вентиляционными и крепежными отверстиями, элементы обшивок, жаровые трубы камер сгорания и т.д. В общем случае указанные отверстия изготавливаются на универсальных сверлильных станках по разметке или в кондукторе, а также, в случае сложной геометрии, на станках с ЧПУ. Следовательно, при необходимости сверления большого количества отверстий на одной детали, требуется использование труда квалифицированного разметчика, либо изготовление дополнительной технологической оснастки, либо использование обрабатывающих центров, что влечет за собой дополнительное увеличение стоимости детали.

С целью упрощения технологического процесса и удешевления производства предлагается использование электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) для выполнения операции перфорирования отверстий в деталях с указанными конструктивными особенностями.

В работах [1 – 3] рассматривалась схема беспуансонного высокоскоростного перфорирования отверстий в листовых деталях. При этом предполагалось, что формообразование отверстия осуществляется за три этапа:

– вдавливание заготовки в кромку матрицы на некоторую величину, незначительный прогиб заготовки и утонение ее в зоне контура матрицы;

– увеличение прогиба, существенный рост радиальных растягивающих напряжений и образование в верхней, наиболее деформированной зоне трещин, распространяющихся в направлении к режущим кромкам матрицы;

– выталкивание отхода как за счет вторичного импульса давления, так и за счет значительных инерционных сил.

При этом давление, необходимое для выполнения операции вырубки, определяется по формуле [3]:

$$P_m = \frac{\tau_{cp} (1 - K^3)}{K^2 \left(1 - \frac{K\delta}{30c_2}\right)}, \quad (1)$$

где τ_{cp} – напряжение среза;

K – коэффициент ($K = 2 \dots 3$);

δ – толщина детали;

c_2 – скорость пластических возмущений.

Для деталей, в конструкции которых присутствуют несколько типоразмеров отверстий, расчет технологических режимов сводится к определению давления, достаточного для того, чтобы обеспечить формообразование элементов, обладающих максимальным сопротивлением деформированию.

В работе [3] приведена зависимость, позволяющая определить расчетное давление в зависимости от отношения диаметра перфорируемого отвер-

ствия d к толщине детали δ и напряжения среза τ_{cp} (рис. 1).

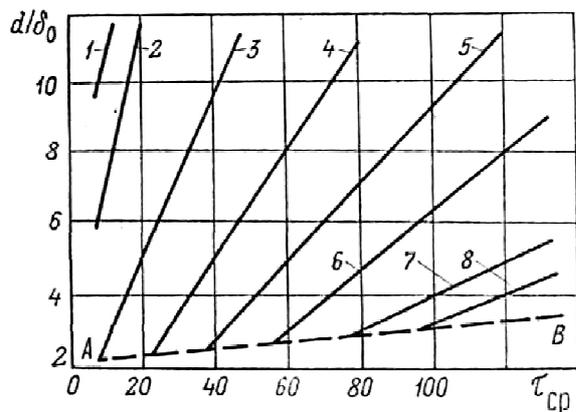


Рис. 1. Зависимость расчетного давления от d/δ и τ_{cp} :
1 – 52 МПа; 2 – 81 МПа; 3 – 120 МПа; 4 – 350 МПа;
5 – 470 МПа; 6 – 620 МПа; 7 – 850 МПа;
8 – 980 МПа

Линия АВ на графиках (рис. 1) характеризует предельные возможности процесса. Как видим, минимально достижимое соотношение d/δ примерно равно 2,2. Однако существует большая номенклатура изделий изделия с соотношением $d/\delta < 2,2$, изготовление которых беспуансонным высокоскоростным деформированием невозможно. В этом случае необходимо применение других схем штамповки, обеспечивающих изготовление отверстий требуемого диаметра.

В качестве такой схемы штамповки предлагается ЭГШ изделий с применением вспомогательных пуансонов.

1. Экспериментальное исследование

1.1. Оснастка, материалы и параметры

Экспериментальное исследование штамповки листовых деталей «на пуансон» выполнялось на технологическом блоке № 2 установки УЭГШ-2. При этом оснастка 5 устанавливалась на нижнюю подвижную траверсу гидравлического пресса. Далее заготовка 8 располагалась над набором пуансонов 7. Прижим заготовки осуществлялся с усилием 6000 Н. Промежуточные кольца 4 служат для изменения расстояния от заготовки до канала разряда. Подвод жидкости и отвод воздуха из разрядной камеры 2 осуществлялся через проставку 2. Общий вид экспериментальной установки и схема эксперимента представлены на рис. 2. При этом использовались следующие параметры разрядного контура и геометрии разрядной камеры: зарядное напряжение – 30 кВ, зарядная емкость – 33,2 мкФ, индуктивность разрядного контура – 0,5 мкГн, межэлектродное

расстояние – 30 мм, расстояние до нагружаемой заготовки – 110 мм, диаметр выходного окна проставки – 150 мм; профиль отражающей поверхности разрядной камеры – коническо-цилиндрический.

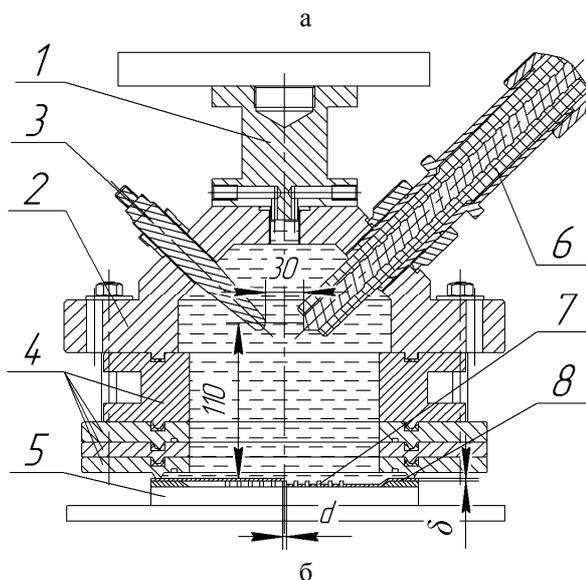
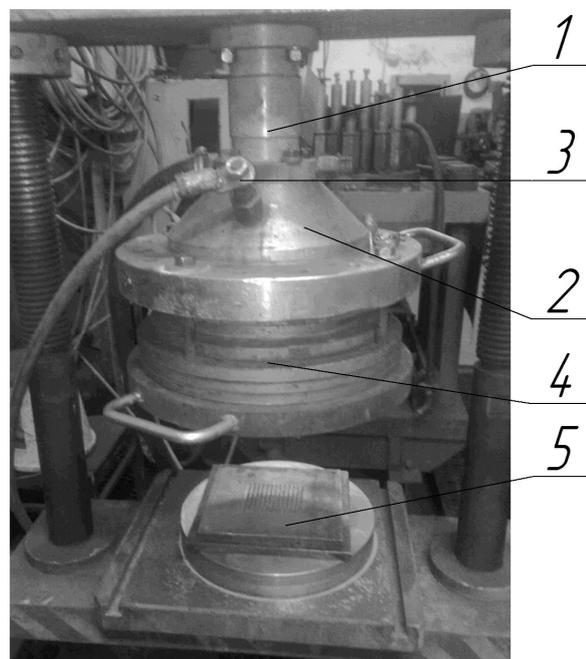


Рис. 2. Экспериментальная установка:
а – общий вид; б – схема эксперимента:
1 – проставка; 2 – разрядная камера; 3 – массивный электрод; 4 – промежуточные кольца; 5 – оснастка;
6 – изолированный электрод;
7 – пуансон; 8 – заготовка

Указанные параметры генератора импульсных токов и геометрии разрядной камеры выбраны в связи с возможностью использования результатов ранее проведенных исследований по определению давления, создаваемого на плоскости преграды прямыми и отраженными ударными волнами [4].

Для определения зависимости требуемого давления от диаметра перфорируемого отверстия использовались пуансоны диаметром 2 мм, 3 мм и 6 мм. При этом пуансоны располагались в узлах сетки на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 3). Влияние толщины заготовок на величину требуемого давления определялось за счет использования листового материала различной толщины: 0,5 мм, 0,65 мм, 1,36 мм и 2 мм. При этом использовались заготовки из алюминиевых сплавов Д16АМ, АМг2М и стали 08кп, что позволило определить влияние предела прочности материала на величину давления, необходимого для перфорирования отверстий.

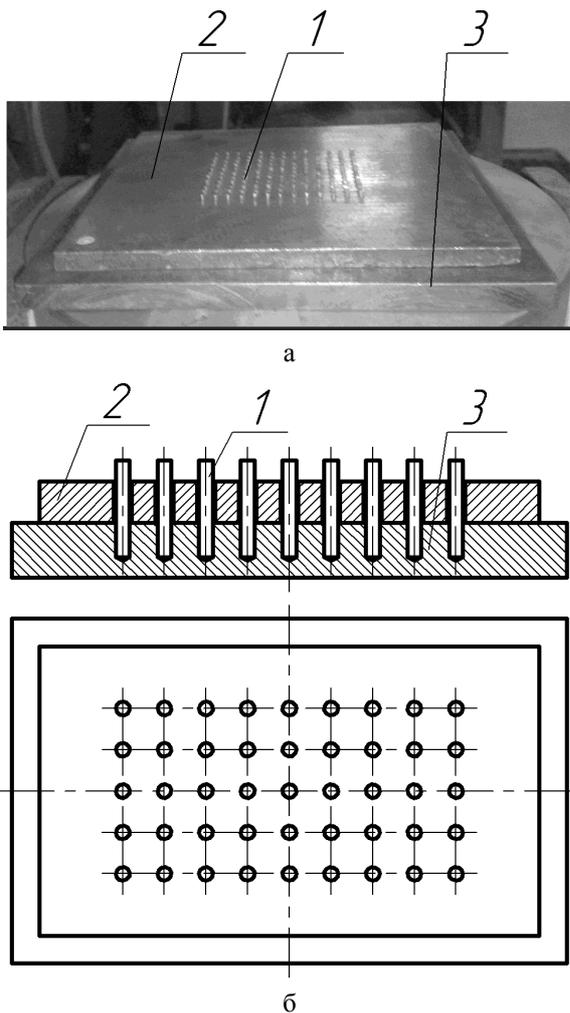


Рис. 3. Экспериментальная оснастка для перфорирования отверстий:
а – общий вид; б – эскиз:
1 – пуансон; 2 – верхняя плита;
3 – промежуточная плита

1.2. Обработка результатов эксперимента

При выполнении разряда в заготовке перфорируется определенное количество отверстий в зависимости от ее толщины и материала (рис. 4), исследуя их расположение можно сделать вывод о давлении, воздействовавшем на заготовку.

Для их расположения можно сделать вывод о давлении, воздействовавшем на заготовку.

Перфорированная область

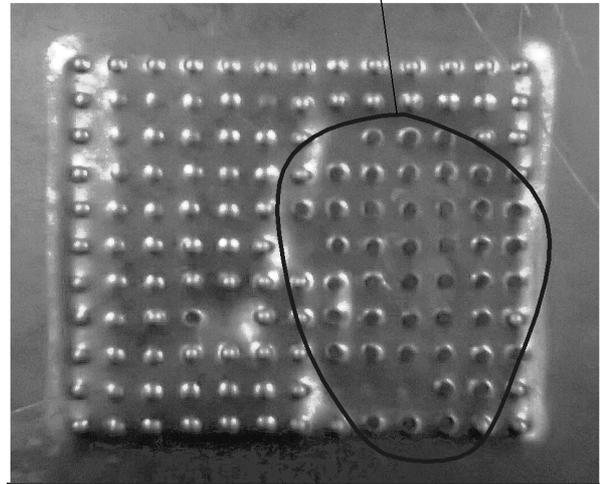


Рис. 4. Участок заготовки, перфорируемый за 1 разряд:
материал заготовки – Д16АМ; толщина – 1,95 мм

Как было указано ранее, в предшествующих исследованиях было определено усредненное поле нагружения заготовки ударными волнами при рассматриваемых электрических и геометрических технологических параметрах (рис. 5).

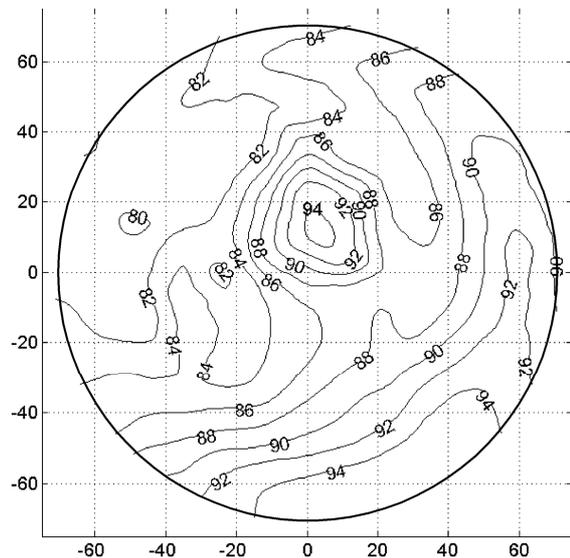


Рис. 5. Поле нагружения, создаваемое ударными волнами, под коническо-цилиндрической разрядной камерой:
зарядное напряжение: 30 кВ,
зарядная емкость: 33,2 мкФ,
индуктивность разрядного контура: 0,5 мкГн,
межэлектродное расстояние: 30 мм,
расстояние до нагружаемой заготовки: 110 мм

Наложив поле нагружения (рис. 5) на перфорированную деталь (рис. 4), можно сделать вывод о давлении, потребном для выполнения операции перфорирования детали с указанными характеристиками отверстий. Так, для перфорирования отверстий диаметром 2 мм в заготовке из алюминиевого сплава Д16АМ толщиной 1,36 мм, потребное давление будет составлять 86 МПа (рис. 6).

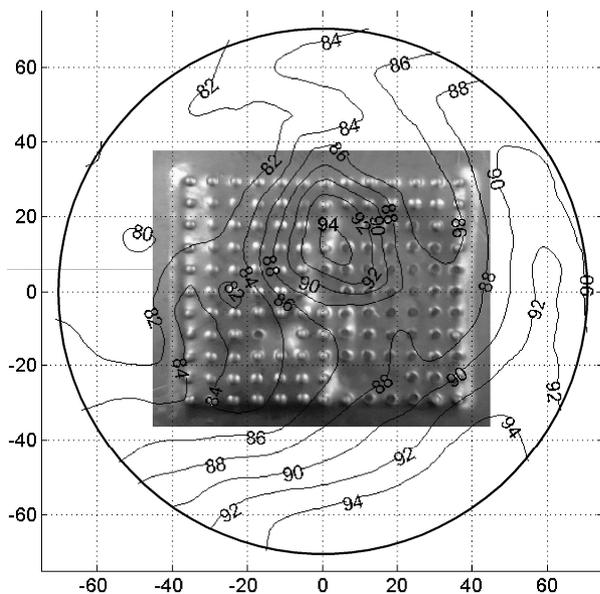


Рис. 6. Карта поля нагружения, совмещенная с перфорированной заготовкой: материал детали: Д16АМ; толщина: 1,36 мм.

2. Анализ результатов эксперимента

Выполненные опыты позволили получить экспериментальные зависимости давления, потребного для перфорирования отверстий, от толщины детали, диаметра перфорируемых отверстий, а также напряжения среза пробиваемого материала.

Путем численной аппроксимации полученных зависимостей определена эмпирическая формула, связывающая потребное давление с геометрическими параметрами перфорируемого отверстия и механическими свойствами материала детали:

$$P = \frac{\tau_{ср} \cdot d^2 \cdot \delta^{1,0032}}{0,63 \cdot A}, \quad (2)$$

где A – площадь поверхности заготовки, участвующая в процессе перфорирования отверстия (эффективная площадь нагружения).

Как видим, потребное давление при перфорировании отверстий «на пуансон» прямо пропорционально связано с сопротивлением среза, диаметром отверстий и толщиной материала детали, и обратно пропорционально с площадью поверхности детали, прилегающей к перфорируемому отверстию. Т.е. чем прочнее материал детали, больше диаметр отвер-

стия и толщина детали и чем ближе расположены отверстия друг к другу, тем выше потребное давление перфорирования.

Однако существует максимальная величина площади детали, участвующая в процессе перфорирования отверстия. Дальнейшее увеличение площади, связанной с перфорируемым отверстием не приводит к снижению потребного давления. Данная величина (исходя из результатов экспериментов) определяется по формуле:

$$A_{max} = d(5,2 \cdot h + 0,5). \quad (3)$$

Полученные формулы позволяют определить лишь потребное давление перфорирования. Однако в практике ЭГШ технологические режимы определяются зарядным напряжением и зарядной емкостью. Поэтому возникает необходимость связать указанные параметры. В работе [5] приведено выражение, позволяющее определить давление на поверхности преграды в зависимости от электрических параметров генератора импульсных токов и геометрии разрядной камеры:

$$P = \left(29,6516 + 2,7008 \cdot l_{me} - 5,5705 \cdot 10^{-2} \cdot l_{me}^2 + 5,1965 \cdot 10^{-4} \cdot l_{me}^3 - 2,5427 \cdot 10^{-6} \cdot l_{me}^4 + 6,2570 \cdot 10^{-9} \cdot l_{me}^5 - 6,0893 \cdot 10^{-12} \cdot l_{me}^6 \right) \times \quad (4)$$

$$\times \Gamma^{-1,6} \cdot 10^{-6} \cdot l_{me}^2 + 1,5702 \cdot 10^{-3} \cdot l_{me} - 1,11831 \times \frac{A_i^{0,25} \cdot \rho_0^{0,375} \cdot U_0^{0,75} \cdot C^{0,125}}{L^{0,5}},$$

где l_{me} – межэлектродное расстояние;

Γ – расстояние от канала разряда до заготовки;

A_i – искровая постоянная;

ρ_0 – плотность передающей среды;

U_0 – зарядное напряжение;

C – зарядная емкость;

L – индуктивность разрядного контура.

Исходя из вышесказанного, расчет технологических параметров перфорирования отверстий необходимо выполнять в следующей последовательности:

1. Определение по формуле (4) максимальной площади поверхности детали, участвующей в перфорировании отверстия. В случае, если $A < A_{max}$, в качестве расчетной принимается площадь A .

2. По выражению (2) вычисляется потребное давление нагружения.

3. По формуле (4) определяются технологические параметры штамповки.

Заключение

Таким образом, в данном исследовании определены эмпирические выражения для вычисления

давления, потребного при перфорировании отверстий с использованием схемы «на пуансон» и максимальной площади поверхности заготовки, вовлеченной в процесс формообразования отверстия. Также определена связь между технологическими параметрами генератора импульсных токов и геометрическими параметрами разрядной камеры с потребным давлением перфорирования.

Приведенные формулы рекомендовано использовать при инженерном расчете потребных энергетических и геометрических параметров электрогидроимпульсных прессов при перфорировании отверстий.

Литература

1. Попов, О.В. Изготовление цельноштампованных тонкостенных деталей переменного сечения [Текст] / О.В. Попов. – М.: Машиностроение, 1974. – 120 с.

2. Шамарин, Ю.Е. Электрогидравлическая пробивка отверстий [Текст] / Ю.Е. Шамарин, С.П. Мартюк, А.Ю. Шамарин // Импульсная обработка металлов // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Х., 1990. – С. 116.

3. Чачин, В.Н. Электрогидравлическая обработка машиностроительных материалов [Текст] / В.Н. Чачин. – Минск: Наука и техника, 1978. – 184 с.

4. Pressure Fields Repeatability at Electrohydraulic Pulse Loading in Discharge Chamber with Single Electrode Pair [Text] / J. San Jose, I. Perez, M.K. Knyazuев, Ya. S. Zhovnovatyuk // 5th International Conference on High Speed Forming: papers collection, Dortmund, April 24 – 26 2012. – P. 33-42.

5. Жовноватюк, Я.С. Определение давления на фронте ударной волны при электрогидроимпульсной штамповке [Текст] / Я.С. Жовноватюк, О.В. Мананков // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали II Всеукр. міжвуз. наук.-техн. конф., 17 – 20 квітня 2012 р. – Суми, 2012. – С. 144-145.

Поступила в редакцию 31.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВИРУБАННЯ ОТВОРІВ СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОГІДРОІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ

Я.С. Жовноватюк

Розглянуто попередні дослідження перфорування отворів способом електрогидроімпульсного штампування (ЕГШ) та визначена область подальшого вивчення. Представлена схема пробивання отворів за рахунок використання допоміжних пуансонів. Проведені експериментальні дослідження перфорування отворів в листових деталях із використанням вказаного оснащення. Виявлена можливість використання даного оснащення для виготовлення отворів діаметром, порівняним із товщиною деталі. Визначений тиск, необхідний для виконання перфорування отворів. Отримано емпіричну формулу розрахунку необхідного тиску в залежності від механічних властивостей матеріалу деталі та геометрії отворів, що перфоруються. Визначена максимальна площа поверхні деталі, яка використовується для пробивання одиничного отвору. Визначений емпіричний зв'язок між параметрами отворів, що перфоруються, та технологічними режимами електрогидравлічного пресу.

Ключові слова: перфорування, оснащення, пуансон, необхідний тиск, ефективна площа навантаження.

ESTIMATING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON HOLES CUTTING BY ELECTROHYDROIMPULSE FORMING

Y.A.S. Zhovnovatyuk

Recent investigations of holes punching by electrohydroimpulse forming were considered and field of further research was determined. Scheme of holes cutting with auxiliary punches was shown. Experimental research of holes punching in sheet parts with referred equipment was held. Opportunity of this equipment application for producing of holes with diameter comparable with thickness of part was revealed. Pressure needed for holes punching was determined. Empirical equation for pressure calculating according to mechanical properties of part material and holes geometry was obtained. Maximal area of part surface used for one hole punching was determined. Empirical relationship between parameters of punched holes and technological parameters of electrohydraulic press was determined.

Key words: punching, equipment, punch, needed pressure, effective area of loading.

Жовноватюк Ярослав Сергеевич – ассистент кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: yaroslavzhovnovatyuk@yandex.ru.