

УДК 621.7.044

В.В. ТРЕТЬЯК*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ ОБЪЕМНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассматриваются особенности импульсной штамповки деталей авиационной техники. Приведена номенклатура объемных деталей для импульсной штамповки. Приведены характеристики по точности и шероховатости объемных деталей, изготавливаемых импульсными методами. Приведены параметры силовых характеристик импульсного деформирования. Приведена схема прессы для импульсной штамповки и состав его компонентов. Приведен порядок расчета работы деформирования и веса заряда для импульсного деформирования объемных деталей. Приведен порядок расчета экономической эффективности метода. Сделаны выводы по возможностям метода и экономической эффективности метода.

Ключевые слова: импульсная штамповка, номенклатура объемных деталей, работа деформирования, вес заряда, экономическая эффективность

Введение

В результате предварительных исследований [1] доказана возможность использования импульсного деформирования для объемных деталей авиационных двигателей.

Прежде всего эта технология выгодна для поковок с тонкими стенами и ребрами, оформление которых происходит в направлении прилагаемых импульсных сил прямым или обратным выдавливанием (рифленные панели, детали с продольными ребрами, конические шестерни с оформленными зубами, стаканы, диски с валом и т.д.).

Особенности поковок для импульсных технологий

В деталях, которые могут быть изготовлены импульсными технологиями хорошо проштамповываются углы с малым радиусом, а внешние штамповочные уклоны практически отсутствуют (0,5-1 градуса).

Величины допусков на поковки, связанные с неточностью изготовления, недоштамповкой, износом штампа, зависимые от массы поковки, степени ее сложности, марки материала и размеров поверхностей, могут быть реально уменьшены в 3 раза по сравнению с допусками при штамповании на обычных молотах.

Шероховатость поверхностей для сталей и титановых сплавов может достигать Rz20, что отвечает 4-5 классам (при холодной штамповке и штамповке с безокислительным нагревом). Кроме этого

при осадке (горячей и холодной) большинства сплавов, степени деформаций больше, чем при осадке на прессе или паровоздушном молоте. При этом, элементы поковок, формообразование которых происходит по схеме прямого или обратного выдавливания (а это в большинстве) рекомендуются для формообразования процессов взрывной объемной штамповки. Скорости деформаций $\dot{\epsilon}$ достигают значений от $2 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.

Существенное значение имеют инерционные силы выдавливаемых частей и их механические свойства, а в результате снижения контактного трения изделие деформируется равномерно со степенями деформации $\epsilon = 0,4 - 0,5$, что содействует увеличению предельной пластичности.

Исходя из этих и ряда менее существенных фактов, предлагается классификация деталей летательных аппаратов и двигателей, которые целесообразно, в первую очередь, переводить на объемную холодную (в отдельных случаях горячую) штамповку. Эта классификация является основой для разработки технологических процессов, а также выбора оборудования и оснастки для импульсной штамповки.

Поковки, рекомендуемые к изготовлению объемной импульсной штамповкой в большинстве случаев имеют сложные контуры. Их можно классифицировать по разным признакам.

Большие скорости деформации в предлагаемых видах штамповки содействуют лучшему заполнению заготовкой формы окончательного ручья.

Опять же следует сказать, что при импульсной нагрузке металл приблизительно в 2 раза интенсив-

нее заполняет верхний ручей, а при штамповке под прессом (при статической нагрузке) он приблизительно в 1,5 раза интенсивнее заполняет нижний ручей.

При импульсной штамповке поковок с согнутой осью или такой формы при которой давление распространяется неравномерно (в большей мере чем при статике) возникают горизонтальные силы, направленные на сдвиг частей штампа друг относительно друга. Сдвигающие усилия можно компенсировать тремя способами: штамповкой сдвоенной поковки, соответствующим выбором поверхности разъема и устройством в штампе замков.

Номенклатура изготавливаемых деталей

Учитывая вышесказанные предложения, предлагаемую классификацию можно представить следующими группами поковок.

1. Поковки с продольными и торцевыми ребрами (стержни с продольными ребрами, стаканы и втулки с внешними и внутренними ребрами, шестерни с оформленными зубьями).
2. Поковки переменного сечения с утолщениями или сужениями (турбинные лопатки и подобные им детали).
3. Поковки типа тройников, крестовин и др.
4. Поковки с глухой полостью (стаканы, в том числе ступенчатые, полусферы и т.д.)
5. Поковки типа дисков (диски со ступицей и выступами).

6. Поковки типа "фланец" с перегородкой.

7. Поковки с вытянутой осью симметричные и несимметричные относительно продольной оси (рычаги, кронштейны, фитинги, коробочки).

Перспективная схема взрывного пресса для объемной штамповки

На рис.1 представлена перспективная схема взрывного пресса для штамповки объемных деталей.

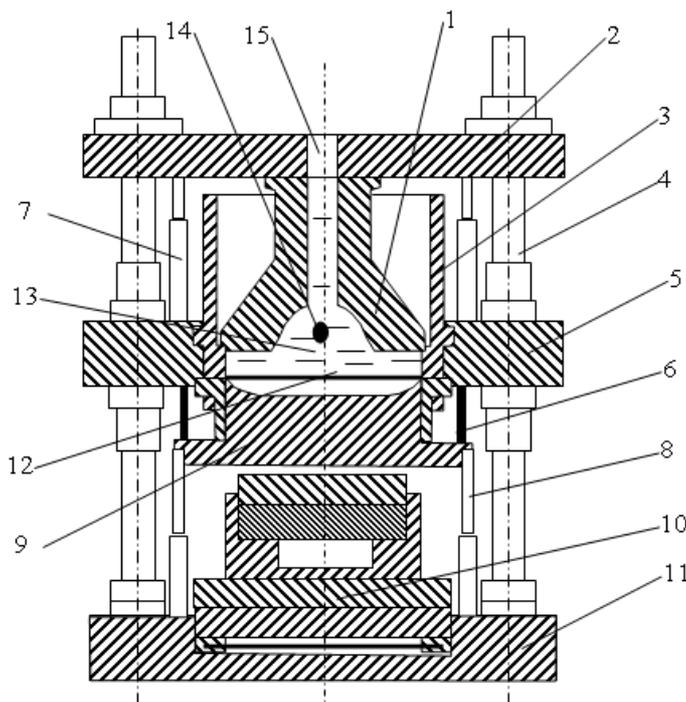
Пресс работает следующим образом [1].

Через отверстие 15, имеющееся в подвижной траверсе 2 и взрывной камере 1, прикрытой заслонкой, передвигающейся с помощью привода, во взрывную камеру 1 и стакан 3 заливается передающая среда (вода).

Взрывная камера крепится на подвижной траверсе с возможностью перемещения на колоннах.

При взрыве бризантного взрывчатого вещества (БВВ) 15, образующаяся во взрывной камере плоская ударная волна, вторично отраженные волны, гидросток и т.д., воздействуя через эластичную диафрагму 12, ударник 9 и технологический блок 10 (пуансон, заготовка, матрица) деформируют заготовку.

Для монтажа технологический блок 10 установлен на выдвигающийся подвижный стол, движущийся по направляющим в основании 11 с помощью гидропривода. Для сборки установки после снятия детали и возврата ударника 9 в рабочее положение служат цилиндры возврата 8.



- 1 - взрывная камера;
- 2 - подвижная траверса;
- 3 - стакан;
- 4 - колонны;
- 5 - неподвижная траверса;
- 6 - фиксатор;
- 7 - амортизатор;
- 8 - цилиндры возврата;
- 9 - ударник;
- 10 - технологический блок;
- 11 - основание;
- 12 - заготовка;
- 12 - диафрагма эластичная;
- 13 - вода;
- 14 - заряд БВВ.

Рис. 1. Схема взрывного пресса

После этого ударник фиксируются в исходном положении фиксатором 6.

Предварительные исследования показали, что КПД таких установок достаточно высок и, в большинстве случаев, выше общего КПД, применяемых на производстве молотов, прессов и высокоскоростных установок.

Начальными данными для разработки технологического процесса импульсной штамповки служит чертеж детали и технические условия на ее изготовление.

Самым ответственным этапом при разработке технологического процесса является расчет энергии для деформирования.

Методика расчета массы заряда и энергии деформирования

Эта задача имеет особенное значение при получении поковки как в открытом, так и в закрытом штампе за один удар, поскольку избыточная энергия и неправильно выбранная схема нагрузки ведут к избыточной перегрузке штампа и к резкому снижению его стойкости, а недостаточная энергия приводит к недоштамповке поковки.

Зная скорость движения верхнего штампа работу A по деформированию объемной заготовки можно рассчитать по формуле:

$$A = \frac{G_{\text{пад}} \cdot V^2}{2}, \quad (1)$$

где V – скорость, м/с; $G_{\text{пад}}$ – вес падающих частей для штамповки, кг;

$$G_{\text{пад}} = 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma (1 - 0,0005 D_{\text{пр}}) \times \\ \times \left\{ 3,75 \cdot (l_3 + D_{\text{пр}} / 4) \cdot (75 + 0,001 D_{\text{пр}}^2) + \right. \\ \left. + D_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{l_3^2}{2} + \frac{l_3 D_{\text{пр}}}{4} + \frac{D_{\text{пр}}^2}{50} \right) \right\} \times \\ \times \ln \left[1 + \frac{2,5 (75 + 0,001 D_{\text{пр}}^2)}{D_{\text{пр}} h_3} \right] \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{l_{\text{п}}}{b_{\text{ср}}}} \right), \quad (2)$$

где $D_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр некруглой в плане поковки, мм;

$$D_{\text{пр}} = 1,13 \cdot \sqrt{F_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поковки в плане, мм²;

σ – временное сопротивление разрыву материала поковки при температуре окончания штамповки;

$l_{\text{п}}$ – длина поковки в плане, мм;

l_3 – ширина мостика облойной канавки, мм;

h_3 – высота мостика облойной канавки, мм;

$b_{\text{ср}}$ – средняя ширина поковки в плане, мм:

$$b_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{п}}}{l_{\text{п}}}. \quad (4)$$

Энергия, заключенная в заряде бризантного взрывчатого вещества равна:

$$W = Q \cdot m, \quad (5)$$

где Q – теплотворная способность БВВ, Дж/кг;

m – масса заряда, кг.

КПД процесса η находят по формуле:

$$\eta = \frac{A}{W} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Выразив из формулы (1) работу A и приравняв ее работе A из формулы (6), получим:

$$\frac{G_{\text{пад}} \cdot V^2}{2} = Q \cdot m \cdot \eta. \quad (7)$$

Выразим из формулы (6) массу заряда m :

$$m = \frac{G_{\text{пад}} \cdot V^2}{2 \cdot Q \cdot \eta} \cdot k, \quad (8)$$

где k соответствует количеству ударов в штампе.

Согласно этой последовательности расчетов выполнена программа для расчета технологических параметров штамповки

На рис. 2 изображено главное меню программы для расчета энергетических параметров расчета для взрывного пресса.

Согласно вышеизложенного алгоритма произведены расчеты энергии и массы заряда для указанных в рис. 1 параметров для выбранной номенклатуры деталей (рис 3, 4).

Данные расчеты выполнены для скоростей деформирования около 7 м/с.

Экспериментальное подтверждение расчетов будет произведено на промышленной установке [2] для деталей авиационных двигателей.

Оценка экономической эффективности метода

Проведена оценка экономической эффективности процесса объемной штамповки для авиационных деталей.

Общий порядок оценки сравнительной экономической эффективности выполнен по следующим пунктам.

1. Определение базовых вариантов, анализ особенностей и отличие сравниваемых вариантов, анализ сопоставимости вариантов.

2. Определение состава показателей экономической эффективности, характерных для данных вариантов; установлено перечню необходимых начальных данных.

Расчет энергетических характеристик для штамповки на взрывном прессе

Входные данные

Dпр (приведенный диаметр поковки в плане) [мм] 43,76471181214 Длина поковки [мм] 30

lz (ширина мостика заусенечной канавки) [мм] 7 Средняя ширина поковки в плане [мм] 50

sigma (сопротивление деформированию) [МПа] 45 КПД (%) 15 Скорость (м/с) 7 Число ударов 1

hz (толщина мостика заусенечной канавки) [мм] 1,5 Теплотворная способность БВВ(МДж/кг) 4,3

Площадь проекции в плане [мм²мм] 1500

Выходные данные

Gm (Вес падающих частей для некруглых в плане поковок) [кг] 467,9978356

Масса заряда (кг) 0,01777519379

Работа деформирования (ДЖ) 11465

Вид поковки в плане

Круглые в плане поковки

Некруглые в плане поковки

Схема штамповки

Осадка

Выдавливание

Осадка и выдавливание

Сумматор

33.6842	0.013527
38.4211	0.015492
43.1579	0.017513
47.8947	0.019581
52.6316	0.021691
57.3684	0.023838
62.1053	0.026017
66.8421	0.028227
71.5789	0.030466
76.3158	0.032734
81.0526	0.035030
85.7895	0.037357
90.5263	0.039714
95.2632	0.042104
100.0000	0.044529

Минимальное значение 10

Максимальное значение 100

Число точек 20

Файл C:\1

Уточненная работа (Дж) 11465

Поправка 0,99991740994

Показать таблицу Показать график

Расчет цикла и запись Расчет Уточненный расчет параметров

Рис. 2. Главное меню программы для расчета энергетических параметров штамповки

Работа деформирования (Дж)

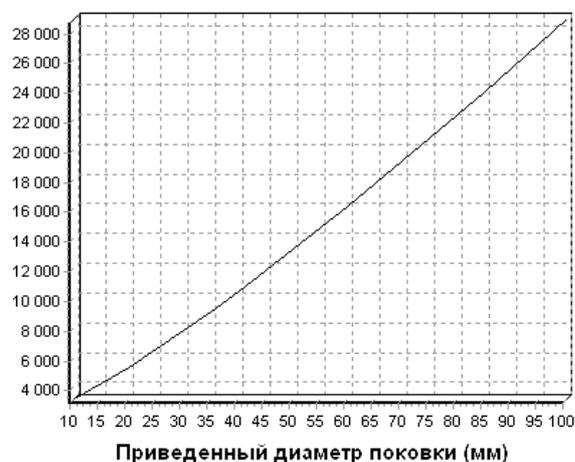


Рис. 3. Зависимость работы деформирования от приведенного диаметра поковки

Масса заряда (кг)

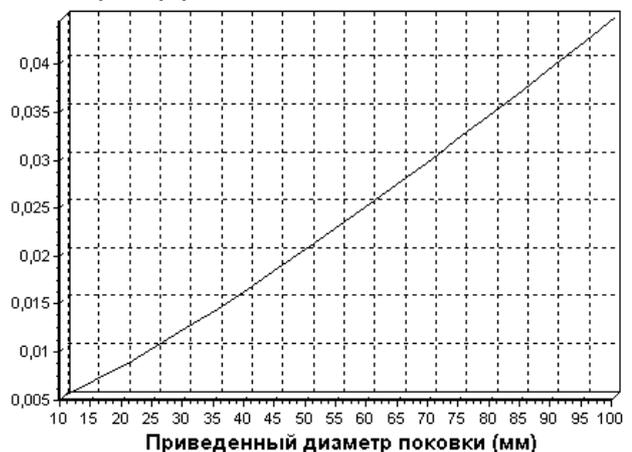


Рис. 4. Зависимость массы заряда от приведенного диаметра поковки

3. Сбор и систематизация начальных данных.
4. Выполнение расчетов принятых показателей.
5. Проведение анализа эффективности сравниваемых вариантов.
6. Оформление общих выводов.

Стоимостная оценка технологического процесса объемного штампования проведена путем

сравнения его с технологическим процессом изготовления деталей методом традиционной обработки.

Экономический эффект в этом случае достигается за счет значительной экономии производственных ресурсов таких как: расходы на основные материалы, основную зарплату производственных рабо-

чих и амортизацию оборудования. Оценка оборудования была проведена по методике оценки уровня качества продукции посредством комплексных показателей и индексов.

Заключение

Проведенные расчеты показали, что анализируемый вариант превосходит по комплексному показателю уровня качества в условиях малосерийного и среднесерийного производства вариант традиционной штамповки на механических прессах в 1,4 раза, вариант штамповки на падающих молотах в 1,5 раза и вариант штамповки на высокоскоростных молотах в 1,8 раза

Литература

1. *Теоретичні та експериментальні дослідження об'ємного деформування деталей аерокосмічної техніки за допомогою імпульсних джерел енергії: науковий звіт по темі (МІНТ-36/06): рук. В.К. Борисевич, исп. В.В. Третьяк, С.И. Молодых, В.П. Павиченко и др. – Харьков, 2008, - 315 с., Г.Р. № 0106U001064.*

2. *Разработка механизированной промышленной установки для изготовления заготовок деталей авиационных двигателей методом импульсной штамповки / В.К. Борисевич, В.В. Третьяк, В.Ф. Мозговой, А.А. Брунак // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – №1 (58). – С. 38-43.*

Поступила в редакцию 4.04.2011

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

ОСОБЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

В.В. Третьяк

Розглядаються особливості імпульсного штампування деталей авіаційної техніки. Приведена номенклатура об'ємних деталей для імпульсного штампування. Приведені характеристики по точності і шорсткості об'ємних деталей, що виготовляються імпульсними методами. Приведені параметри силових характеристик імпульсної деформації. Приведена схема пресу для імпульсного штампування і склад його компонентів. Приведений порядок розрахунку роботи деформації і ваги заряду для імпульсної деформації об'ємних деталей. Приведений порядок розрахунку економічної ефективності методу. Зроблені висновки по можливостях методу і економічній ефективності методу.

Ключові слова: імпульсне штампування, номенклатура об'ємних деталей, робота деформації, вага заряду, економічна ефективність

FEATURES OF IMPULSIVE STAMPING BY VOLUME DETAILS OF AVIATION TECHNIQUE

V.V. Tretyak

Features are considered of the impulsive stamping of details of aviation technique. A nomenclature is resulted of by volume details for the impulsive stamping. Descriptions are resulted on exactness and roughness of the by volume details, made impulsive methods. Parameters are resulted of power descriptions of impulsive deformation. A chart is resulted of press for the impulsive stamping and composition of its components. An order is resulted of computation of work of deformation and weight of charge for the impulsive deformation of by volume details. An order is resulted of computation of economic efficiency of method. Conclusions are done on possibilities of method and economic efficiency of method.

Keywords: impulsive stamping, nomenclature of by volume details, work of deformation, weight of charge, economic efficiency

Третьяк Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.