

Расчет параметров технологии штамповки взрывом оболочечных деталей с нагревом заготовок в объектном представлении

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

Рассмотрены особенности метода штамповки взрывом оболочечных деталей с нагревом заготовок. Представлены существующие методы нагрева заготовок. Указаны преимущества и недостатки данных способов нагрева. Приведена схема установки для штамповки взрывом оболочечных деталей и принцип работы данной установки. Показаны принципы проектирования и алгоритм расчета газовых инфракрасных нагревателей. Разработана программа расчета параметров оболочечных деталей штамповкой взрывом с нагревом заготовок. Представлены результаты расчета параметров технологического процесса.

Ключевые слова: штамповка взрывом, оболочечные детали, газовый нагреватель, технологический процесс, нагрев заготовок, импульсные методы.

Введение

В конструкциях современных авиационных двигателей детали замкнутого контура типа обечаек составляют наиболее многочисленную группу в общей номенклатуре изделия. Такие детали используются в узлах компрессора, камеры сгорания и соплового аппарата. Технологические процессы изготовления указанной группы деталей, применяемые в настоящее время на производстве, относятся к одним из наиболее сложных и трудоемких. Особые сложности при формообразовании возникают при изготовлении деталей из малопластичных высокопрочных сплавов типа ВТ20, ВТ5-1, ВТ6. Эти титановые сплавы крайне затруднительно обрабатывать в холодном состоянии. Для повышения пластических характеристик в большинстве случаев применяется нагрев.

1. Существующие способы нагрева заготовок

В практике авиадвигателестроения при изготовлении деталей из труднодеформируемых сплавов широкое использование нашли как традиционные, так и специальные способы нагрева. К традиционным способам относятся нагревы: в печах, радиационный, электроконтактный, индукционный, газовыми горелками, посредством штамповочного инструмента, в расплавах, к специальным – нагрев пиротехническими составами и посредством передающей среды [1].

Из-за отсутствия потерь температуры при переносе толстостенной заготовки она нагревается достаточно просто одним из известных способов. Однако при формообразовании тонкостенных (0,8...2,0 мм толщиной) заготовок процесс штамповки с нагревом имеет определенные сложности: во-первых, заготовки при высоких температурах обладают низкой жесткостью, во-вторых, быстро охлаждаются после прекращения нагрева.

При выборе способа нагрева необходимо учитывать возможную технологическую схему штамповки и специфические свойства обрабатываемого материала. Так, например, титановые сплавы при высоких температурах активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и другими газами, образующими соединения на поверхности и проникающими в кристаллическую решетку. В результате могут изменяться их механические свойства. Длительная выдержка титановых

сплавов при температуре выше точки фазового превращения приводит к росту зерна и одновременному увеличению газонасыщения поверхности заготовки. Для сохранения мелкодисперсной структуры и высоких механических свойств деталей при нагреве заготовок необходимо обеспечивать минимальное время пребывания их при температуре выше температуры фазового превращения, а для предотвращения окисления использовать защитные среды либо специальные обмазки. Радиационный нагрев является одним из прогрессивных способов. В зависимости от применяемого источника энергии промышленные устройства для его реализации подразделяются на газовые и электрические.

Преимущества газового радиационного нагрева – высокая скорость нагрева, универсальность, возможности нагрева заготовок больших габаритов, в технологической зоне, а также возможность создания дифференцированного нагрева.

Недостатки: трудность контроля температуры, неравномерность температурного поля при сложной конфигурации заготовок, возможность перегрева металла в локальных зонах.

2. Установка для горячей штамповки взрывом

Штамповка деталей типа оболочек из цилиндрических тонколистовых заготовок с нагревом на обычном прессовом оборудовании невозможна в связи с быстрым падением температуры при переносе заготовки из зоны нагрева в технологическую зону, применением жесткого инструмента, который приводит к сильному теплоотводу, а также в связи с низкими скоростями деформирования.

При импульсном формообразовании время деформирования длится миллисекунды, что является в данном случае положительным фактором, поскольку заготовка не успевает остыть до момента окончания деформации.

На рис. 1 представлена схема установки для штамповки взрывом деталей из нагретых оболочечных заготовок, основные технические характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики заготовок

Наименование показателей	Единицы измерения	Значения
Энергоноситель импульсной нагрузки – заряд БВВ	кг	0,1
Максимальное давление импульсной нагрузки в гидросреде	МПа	100
Передающая среда	-	Вода
Способ штамповки	-	Метанием передающей среды
Способ нагрева заготовки	-	Радиационный
Энергоноситель нагревателя:		
пропан	%	20
воздух	%	80
Максимальная температура нагрева заготовки	К	1473

Окончание табл. 1.

Максимальная тепловая мощность нагревателя	ккал/с	10
Габаритные размеры оснастки:		
диаметр	м	1,5
высота	м	0,8
Габаритные размеры оснастки:		
высота не более	м	3
в плане не более	м	3,5x2,5
Максимальный вес установки	кг	1500

Формообразование в установке осуществляется по матрице, отображающей форму детали. Импульсная нагрузка создается в гидросреде при подрыве заряда бризантного взрывчатого вещества (БВВ). Схема установки позволяет нагревать заготовку непосредственно в оснастке, что в совокупности с механизацией операций подачи вывода нагревателя и ввода бассейна дает сокращение времени контакта нагретой заготовки с внешней средой до 5 с и сохранение штамповочной температуры заготовки, без значительного предварительного ее перегрева.

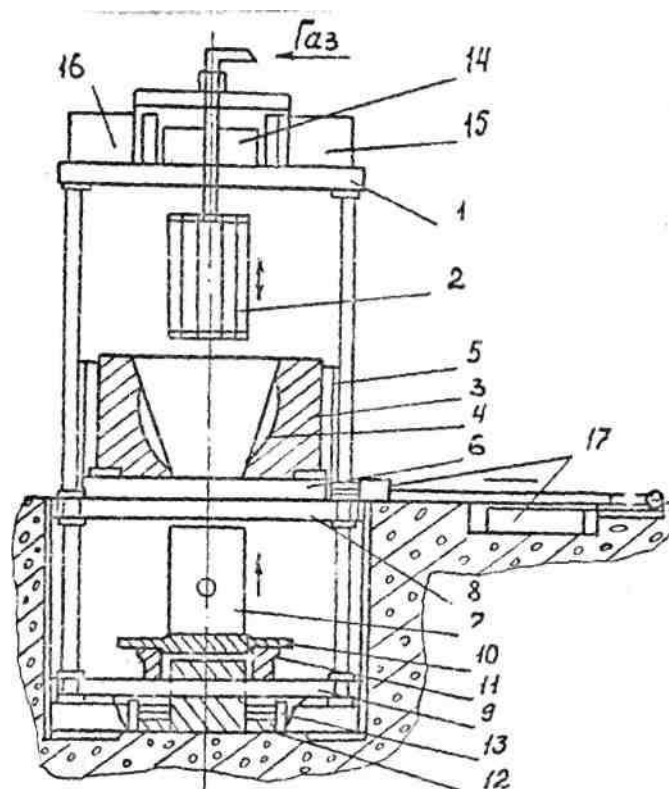


Рис. 1. Схема установки ВУГШ-3-1500 РН:

1 – силовая рама; 2 – нагреватель; 3 – матрица; 4 – заготовка; 5 – крышка бронямы; 6 – каретка; 7 – бассейн с зарядом; 8 – рама матрицы; 9 – рама бассейна; 10 – основание бассейна; 11 – кольцо; 12 – основание; 13 – амортизатор; 14 – привод нагревателя; 15 – привод вертикального перемещения бассейна; 16 – привод вертикального перемещения матрицы; 17 – привод горизонтального перемещения матрицы

Конструкция установки представляет собой силовую раму 1 с системой вертикальных и горизонтальных направляющих, на которых смонтированы подвижные элементы. Их перемещение обеспечивается системой электроприводных механизмов. Силовая рама заглублена на половину ее высоты в специальной бронее, свободная поверхность которой на уровне пола закрывается бронеплитами. Броняма, закрытая бронеплитами, служит взрывной камерой установки. Внутренний объем силовой рамы образует технологическую зону установки, площадка, примыкающая к бронее, на которой установлены консольные горизонтальные направляющие силовой рамы, – зону подготовки. На верхней площадке силовой рамы смонтирован узел вертикального перемещения источника нагрева заготовки 14, состоящий из электроприводного механизма, тросовой проводки, системы направляющих роликов и втулки, а также подвижной штанги, на которой установлен нагреватель.

Импульсное нагружение осуществляется по схеме метания передающей среды с помощью специальных бассейнов 7, устанавливаемых на платформе вертикального перемещения бассейна 9, смонтированной на вертикальных направляющих силовой рамы. Кроме того, на вертикальных направляющих силовой рамы смонтирована платформа 8 вертикального перемещения оснастки, предназначенная для подачи матрицы во взрывную камеру.

На горизонтальных направляющих силовой рамы смонтирована платформа горизонтального перемещения 6 оснастки 3, служащая для установки матрицы и подачи ее из зоны подготовки в технологическую зону.

Исходное положение подвижных элементов – верхнее, платформа горизонтального перемещения оснастки размещена в зоне подготовки.

В начале технологического цикла в зоне подготовки на платформу горизонтального перемещения устанавливается матрица 3 с заготовкой 4, затем в технологической зоне – снаряженный бассейн 7 на платформу вертикального перемещения бассейна, после чего платформа 9 перемещается во взрывную камеру. Платформа горизонтального перемещения оснастки 6 со снаряженной матрицей 3 подается в технологическую зону и устанавливается на платформе вертикального перемещения 8 оснастки. Параллельно осуществляется поджиг и вывод на режим нагревателя 2. Затем нагреватель 2 вводится в полость матрицы для нагрева заготовки 4. После достижения необходимой температуры платформа с оснасткой подается во взрывную камеру до полного входа бассейна в полость матрицы. Одновременно взрывная камера закрывается защитными бронеплитами, после чего производится подрыв заряда БВВ и штамповка детали.

После этого все технологические перемещения осуществляются в обратной последовательности, и в зоне подготовки из матрицы извлекается готовая деталь.

Управление установкой – дистанционное. Пульт управления находится за бронестенкой в пультовой.

Одним из основных узлов описанной установки является нагреватель, от эффективности работы которого в наибольшей степени зависит качество штамповки.

3. Принципы проектирования газовых нагревателей

Газовые радиационные (инфракрасные) излучатели различаются габаритами и формами, наиболее соответствующими формам нагреваемых заготовок, и выполняются инжекционными либо принудительного смешения.

Нагреватель представляет собой керамический излучающий насадок, внутри которого смонтирован смеситель, смешивающий газ с воздухом (коэффициент избытка воздуха – 1,05). Схема инжекционного газового нагревателя показана на рис. 2.

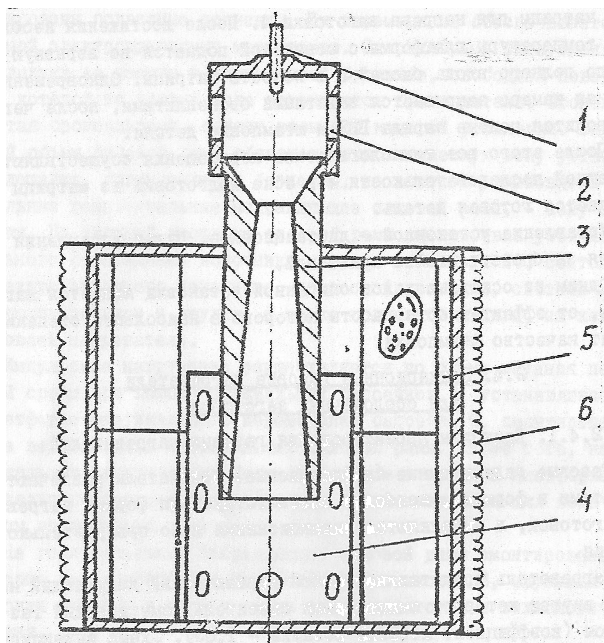


Рис. 2. Схема инжекционного газового нагревателя:
1 – газовое сопло; 2 – корпус; 3 – инжектор; 4 – отражательное кольцо; 5 – излучающий насадок; 6 – металлическая сетка

Для расчета инжекционного газового нагревателя необходимо знать величину потребной тепловой нагрузки для разогрева заготовки до требуемой температуры. В настоящее время рассматриваются заготовки, изготовленные из титановых сплавов. Эти сплавы имеют достаточно узкий диапазон штамповочных температур (1073...1273 К). Исходя из этого температуру на поверхности керамической плитки принимаем равной примерно 1100 К, а диаметр каналов в плитке – 1,55 мм. В зависимости от температуры находим величину нормальной тепловой нагрузки на одну стандартную плитку $Q_{пл}$, ккал/с. Для расчета нагревателя необходимо также знать характеристики сжигаемого газа: теплоту сгорания $Q_{р.н}$, ккал/м³ (для сжиженного газа); плотность ρ , кг/м³ и давление перед соплом ΔP , кгс/м². После этого определяем основные геометрические размеры инжектора излучающей горелки. Расчет инжектора проводится из условия полного сгорания газа, т.е. при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,05$. Расход газа

$$V_r = \frac{Q}{Q_{р.н}}, \quad (1)$$

где Q – полная тепловая нагрузка нагревателя, ккал/ч; $Q_{р.н}$ – теплота сгорания газа, ккал/м³.

Полную тепловую нагрузку нагревателя находим из выражения

$$Q = 3,6 \cdot Q_{пл} \cdot n, \quad (2)$$

где $Q_{пл}$ – тепловая нагрузка на одну керамическую плитку для заданной температуры и диаметра отверстия в плитке, кал/с; n – количество плиток в излучателе; 3,6 – переводной коэффициент.

Количество плиток в излучателе находим из соотношения

$$n = \eta_s \frac{S_{изл}}{S_{пл}}, \quad (3)$$

где $S_{изл}$ – полная площадь излучателя; $S_{пл}$ – площадь одной плитки; η_s – коэффициент полезной площади, учитывающий наличие швов и термокомпенсаторов между плитками ($\eta_s = 0,75 \dots 0,85$).

Расход воздуха для нагревателя определяем из соотношения

$$V_{возд} = V_r \cdot \alpha \cdot V_0, \quad (4)$$

где V_0 – расход воздуха для сжигания одного кубометра газа (для сжиженного газа $V_0 \approx 23,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$).

Площадь поперечного сечения сопла (форсунки) с нагревателя зависит от расхода газа V_0 при давлении P_0 и температуре T_0 , плотности газа при нормальных условиях ρ_0 , коэффициента расхода сопла (μ) с углом конусности $13 \dots 15^\circ$, равным 0,9, а также плотности газа при давлении P_1 и температура T_1 . Здесь P_1 – абсолютное давление перед соплом горелки. В данном случае для расчета площади (мм^2), поперечного сечения сопла можно использовать выражение

$$f_c = V_r 10^5 / \left(3600 \mu (19,8 \Delta P / \rho)^{0,5} \right), \quad (5)$$

где V_r – расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP – перепад давлений газа на сопле; ρ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Диаметр сопла

$$d_c = (4 f_c / \pi)^{0,5}. \quad (6)$$

Для расчетов первого приближения применима формула Левина:

$$K_{онм} = f_z / f_c, \quad (7)$$

где f_r – площадь поперечного сечения горловика инжектора, м^2 .

Диаметр камеры смешения определяется из условия

$$d_z = d_c (K_{онм})^{0,5}. \quad (8)$$

Для природного газа (при $\alpha = 1,05$) $K_{опт} = 380$ и

$$d_z = 19,5 d_c. \quad (9)$$

Длина камеры смешения

$$l_z = (3 \dots 5) d_z. \quad (10)$$

Угол расширения диффузора β равен 8° , а диаметр выходного сечения диффузора

$$d_\partial = (2 \dots 2,5) \cdot d_z. \quad (11)$$

Длина диффузора

$$l_\partial = (d_\partial - d_z) / \left(2 \operatorname{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) = 7,15 (d_\partial - d_z). \quad (12)$$

Диаметр конфузора d_k равен d_∂ , а длина его

$$l_k = (1,5 \dots 2,2) d_z. \quad (13)$$

Зазор между нижним обрезом диффузора и основанием излучателя определяем из соотношения

$$\Delta D = (0,1 \dots 0,12) \cdot H, \quad (14)$$

где H – высота излучателя.

Диаметр отражательного кольца d_0 находим из равенства площадей выходного сечения диффузора и кольца, образованного диффузором и отражательным кольцом:

$$d_0 = \sqrt{2} d_\partial. \quad (15)$$

Высота отражательного кольца

$$H_0 = (0,5 \dots 0,7) \cdot H. \quad (16)$$

При выборе геометрических параметров излучающего насадка и сетки-экрана необходимо учитывать геометрические размеры заготовки и следующие рекомендации:

1. Зазор между наименьшим диаметром заготовки и сеткой-экраном определяем из соотношения

$$\Delta_3 = (d_3 - d_\partial) / 2 \approx (10 \dots 15) \text{ мм}, \quad (17)$$

где d_3 – наименьший диаметр заготовки; d_∂ – диаметр сетки-экрана.

2. Зазор между сеткой-экраном и излучающим насадком находим из выражения

$$\Delta_u = (d_\partial - d_u) / 2 \approx (5 \dots 8) \text{ мм}, \quad (18)$$

где d_u – диаметр излучающего насадка.

3. Высоту излучателя (нагревателя) вычисляем из соотношения

$$H = (1 \dots 1,2) \cdot H_3, \quad (19)$$

где H_3 – высота заготовки.

В случае, если заготовка коническая, расчет параметров нагревателя ведется по меньшему диаметру заготовки.

4. Разработка программы для расчета параметров технологического процесса

По данным алгоритмам разработана программа для расчета параметров технологии штамповки взрывом оболочечных деталей с нагревом заготовок, выполненная в объектном исполнении.

Известно, что объектно-ориентированные методы имеют следующие преимущества:

- существенно повышается качество разработки программы и ее фрагментов;
- программы получаются более компактными и дешевыми;
- обеспечивается большее удобство в планировании разработки;
- упрощается процесс внесения изменений;
- изменение исходных требований не приводит к полной переработке программы;
- уменьшается риск в разработке сложных программ;
- метод ориентирован на человеческое восприятие, так как для человека более приемлем объектный, а не процедурный подход [2,3].

Данная программа может быть использована как для расчета технологических параметров в научных исследованиях, так и для расчетов, связанных с проведением лабораторных работ в учебных целях (рис. 3).

В программе предусмотрена возможность построения графических зависимостей выходных параметров от входных характеристик (рис. 4).

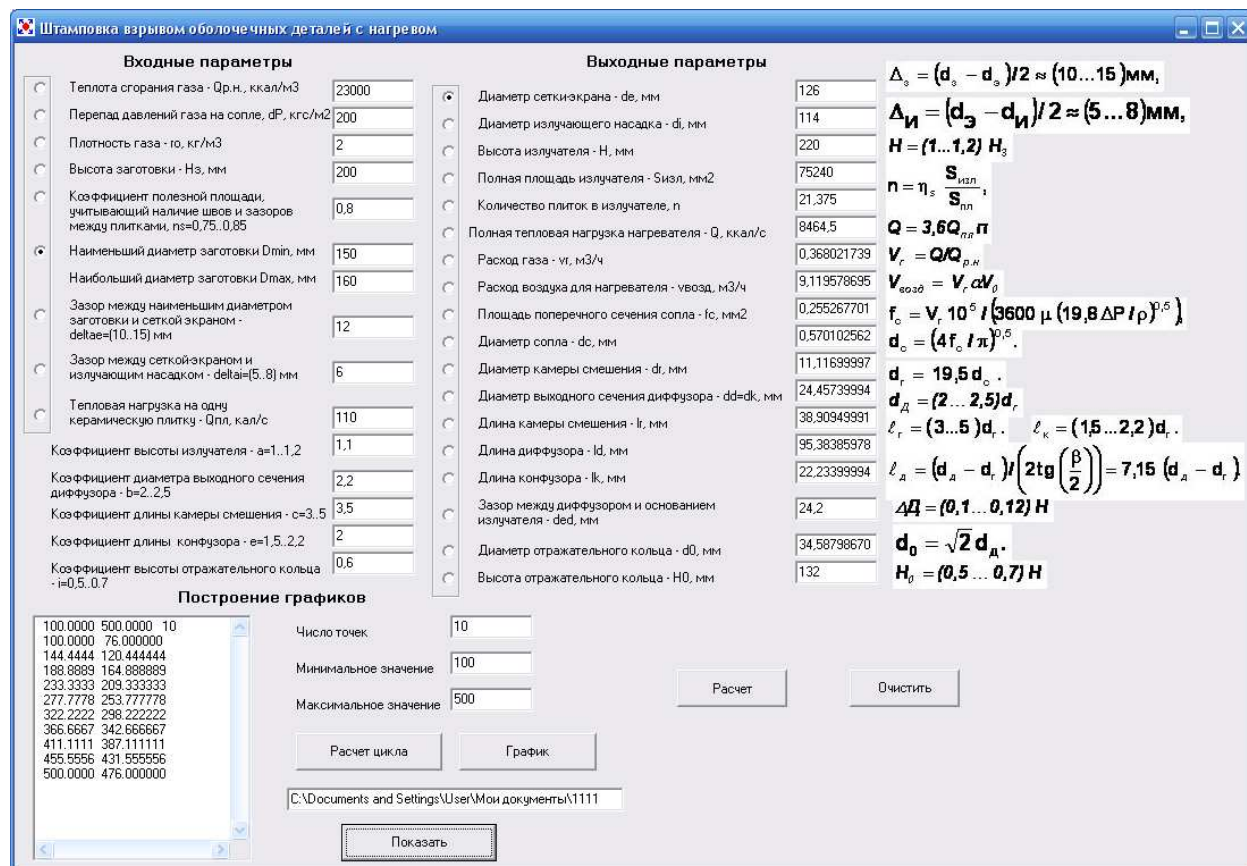


Рис. 3. Экранная форма для расчета параметров оболочечных деталей с нагревом

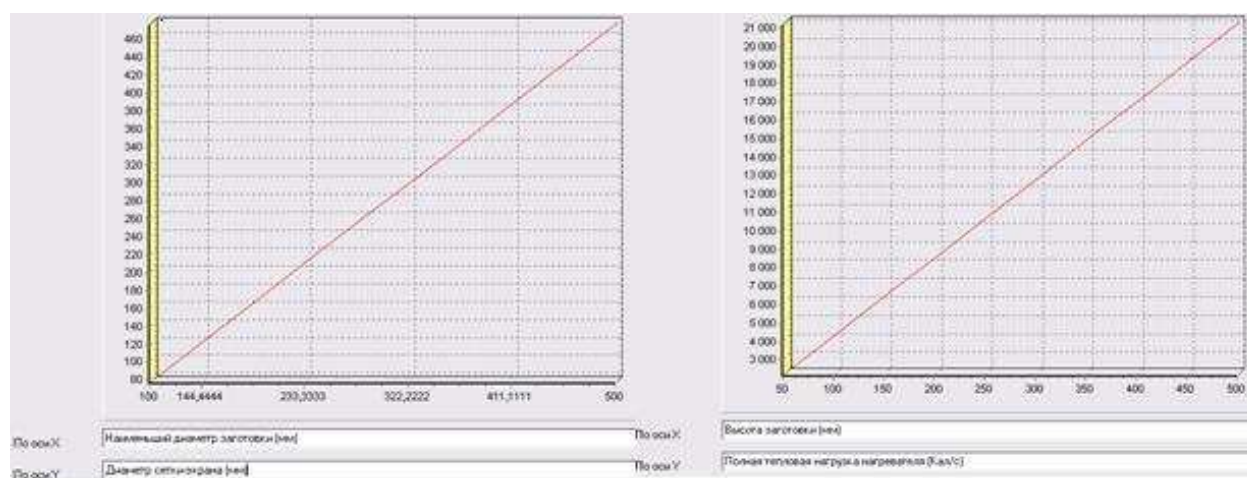


Рис. 4. Графическое представление рассчитанных параметров технологического процесса

Список литературы

1. Высокоэнергетические методы листовой штамповки [Текст] : учеб. пособие по лаб. практикуму / В.К.Борисевич, А.И. Волков, Н.И.Семишов и др. – Х.:Гос. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 1998. – 75 с.
2. Евгеньев, Г.Б. Систематология инженерных знаний [Текст] учеб. пособие для вузов / Г.Б. Евгеньев. – М : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 346 с.
3. Третьяк, В.В. Объектный подход к проектированию ресурсосберегающих импульсных технологий [Текст] / В.В. Третьяк // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – №3 (29). – С. 26-31.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Долматов,
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Харьков.

Поступила в редакцию 20.07.12

Розрахунок параметрів технології штампування вибухом оболонкових деталей з нагріванням заготовок в об'єктному поданні

Розглянуто особливості методу штампування вибухом оболонкових деталей з нагріванням заготовок. Подано існуючі методи нагрівання заготовок. Зазначено переваги та недоліки даних способів нагрівання. Наведено схему установки для штампування вибухом оболонкових деталей і описано принцип роботи цієї установки. Показано принципи проектування та алгоритм розрахунку газових інфрачервоних нагрівачів. Розроблено програму розрахунку параметрів оболонкових деталей штампуванням вибухом з нагріванням заготовок. Подано результати розрахунку параметрів технологічного процесу.

Ключові слова: штампування вибухом, оболонкові деталі, газовий нагрівач, технологічний процес, нагрівання заготовок, імпульсні методи.

Calculation of parameters of technology of stamping by explosion of shell details with heating of workpieces in objective presentation

In article features of method of stamping by the explosion of shell details with heating of workpieces are considered. Existing methods of heating of purveyances are presented. The advantages and lacks of the given methods of heating are indicated. A chart of installation for stamping by the explosion of shell details and principle of work of the given installation is presented. Principles of planning and algorithm of computation of gas infra-red heaters are shown. The program of calculation of parameters of shell details by stamping by the explosion with heating of workpieces is developed. Results of calculation of parameters of technological process are presented.

Keywords: stamping by explosion, shell details, gas heater, technological process, heating of workpieces, impulsive methods.