

УДК 621.7.044

В.В. ТРЕТЬЯК, А.В. ОНОПЧЕНКО

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ЗАРЯДА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ

В статье представлен анализ методик для расчета заряда при изготовлении сложных листовых крупногабаритных деталей методом взрывной штамповки. Приведен подход для оптимизации расчета заряда в технологических процессах взрывной штамповки. Произведены расчеты и выполнено сравнение результатов по различным методикам расчета заряда. Приведены формулы для расчета полей давления. Даны рекомендации для установки заряда и его месторасположения. Даны рекомендации для корректировки величины заряда в зависимости от производственных условий. Представлен вариант программной реализации расчетов.

Ключевые слова: импульсные методы, штамповка взрывом, технологический процесс, дистанция установки зарядов, вес заряда.

Введение

Взрывная штамповка среди одноинструментальных методов обладает уникальными возможностями. Этим способом можно изготавливать детали больших габаритов без технологического членения, повышенной точности, сложной пространственной конфигурации, из высокопрочных материалов, при этом сроки подготовки производства минимальные, а капитальные затраты в десятки раз ниже. Эти преимущества и обусловили использования этого метода для изготовления деталей авиационно-космической техники. Апробация этого метода, а в последующем и его широкое применение стало возможным благодаря результатам исследований ученых в самых различных предметных областях по изучению явлений, протекающих при взрывной штамповке. Несмотря на сложности явлений, протекающих при взрывной штамповке, разработаны методики определений режимов обработки и несущей способности силовых элементов средств технологического оснащения, что позволило использовать метод в производственных условиях и накопить опыт в практике взрывной штамповки. Методы проектирования технологических процессов базируются на общих положениях, рекомендациях, интуиции и опыте технолога и сводились к определению веса заряда, его месторасположения и априорному назначению схемы штамповки, маршрута обработки, элементов технологических процессов и их свойств [1].

1. Определение веса заряда ВВ

Один из важнейших технологических параметров гидровзрывной штамповки – вес заряда ВВ. Его

необходимо задавать так, чтобы получить годное изделие, не разрушая штамповой оснастки и оборудования. Этому вопросу посвящено много работ различных авторов. В работе [2] дан подробный анализ основных методов подхода к определению веса зарядов и к предложенным формулам.

Ограничимся приведением расчетных таблиц и выводов В.Г. Степанова [2]. Сопоставляя численные значения отдельных сомножителей в формулах различных авторов для определения веса сосредоточенного заряда и сводя их в табл. 1, можно убедиться в том, что каждый сомножитель отражает определенную сущность процесса: C_A – учитывает работу деформирования, приходящуюся на единицу смоченной поверхности заготовки; C_M – присоединенную массу заготовки; C_R – расстояние от заряда заготовки; C_Ψ – дифракцию ударной волны; C_j – импульс ударной волны.

Произведя расчеты и сопоставив опытные данные для штамповки днищ $\varnothing 1100$ мм и толщиной 10...27 мм из различных материалов (табл. 1), получим коэффициенты сходимости по каждой методике, равные отношению опытного веса заряда к расчетному. Из таблицы виден большой разброс конечных результатов – до 40% по сравнению с опытными. Практика показывает, что при пользовании любой методики необходимо для окончательных результатов производить корректировку после проведения определенных опытных работ для данных условий штамповки. Методика, предложенная Р.В. Пихтовниковым, широко применяется, но в какой-то мере эта методика требует дальнейшего уточнения. Р.В. Пихтовников [3] рекомендует пользоваться следующими зависимостями для определения веса заряда ВВ:

Таблица 1

Сопоставление численных значений различных формул для определения веса заряда [2]

Авторы методик	Параметры				
	C_A	C_M	C_R	C_Ψ	C_j
Алексеев	$(fq)^{0,795}$	$(2\rho\delta)^{0,795}$	$R^{1,41}$	-	$0,156(k^{-2})^{0,195}$
Пихтовников	$\left(\frac{A}{S_0}\right)^{0,8}$	$\left(2\rho\delta\frac{1}{1-\gamma^2}\right)^{0,8}$	$R^{1,44}$	-	0,156
Навагин	$\left(\frac{A}{S_0}\right)^{0,75}$	$\left(2\frac{M}{S_0}\right)^{0,75}$	$R^{1,5}$	$\left(\frac{1}{n_0a}\right)^{1,5}$	$0,089\left(\frac{1}{4}\right)^{0,75}$
Родосский	$\left(\frac{A}{S_0}\right)^{0,75}$	$\left(\frac{2M}{S_0}\right)^{0,75}$	$R^{1,5}$	$\left(\frac{1}{\Psi}\right)^{1,5}$	$0,089\left(\frac{1}{4}\right)^{0,75}$

для штамповки сферическим зарядом вес его (в кг) определится по формуле

$$G = \left(\frac{\omega s R_s^{1,8}}{1 - v^2} N \right)^{0,8};$$

для штамповки линейным зарядом вес на единицу длины равен

$$q = \left(\frac{\omega s R_3^{0,55}}{1 - v^2} M \right)^{0,8};$$

N , M и величина $1 - v^2$ определяются по табл. 1; s – толщина изделия; ω – удельная работа деформации.

Удельная работа деформации определяется как

$$\omega = \frac{\omega'_{сф}}{\pi R_{из}^2},$$

где $\omega'_{сф}$ – энергия деформации сферического сегмента, равная

$$\omega'_{сф} = \frac{B}{1 + \alpha} \left(\frac{4 h_{из}^2}{3 R_{из}} \right)^{1 + \alpha} \pi R_{из}^2 s,$$

здесь $h_{из}$ – высота изделия в см; $R_{из}$ – расстояние до заряда, равное радиусу изделия в см; B и α – константы, характеризующие материал, определяются из опытов на простое растяжение; для отдельных материалов их значения приведены в табл. 2.

Приведенные формулы дают достаточно удовлетворительные результаты для днищ диаметром до 1 м. Некоторые исследователи предлагают более сложную зависимость для определения веса заряда при расчете днищ большего диаметра, а расчет производить в следующем порядке.

Таблица 2

Значения величин N , M и $[1 - v^2]$

Материал	ρ в кгс·с ² /см ²	$1 - v^2$ при $\beta > 2$	N	M
Сталь	$7,8 \cdot 10^{-6}$	0,781	$1,376 \cdot 10^{-6}$	$222 \cdot 10^{-6}$
Титановые сплавы	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0,813	$0,792 \cdot 10^{-6}$	$128 \cdot 10^{-6}$
Алюминиевые сплавы	$2,8 \cdot 10^{-6}$	0,824	$0,494 \cdot 10^{-6}$	$79 \cdot 10^{-6}$

По сложной формуле определяется произведение пикового давления на фронте ударной волны P_t на постоянную времени экспоненциального закона спада давления ударной волны, т. е.

$$P_m \theta \approx 1,07 h_{из} \frac{s}{R_{из}} \sqrt{\sigma_t \rho_m \left(1 + 0,786 \frac{\rho_0 R_{из}}{\rho_m s} \ln \frac{R_{заг}}{R_{из}} \right)}.$$

Определив по этой формуле значение произведения $P_m \theta$ и, задавшись расстоянием от центра заряда до заготовки R_3 , определяем вес заряда по формуле

$$P_m \theta = A_{ВВ} G^{1/3} \left(\frac{G^{1/3}}{R_3} \right)^{\alpha_{ВВ}},$$

где $A_{ВВ}$ и $\alpha_{ВВ}$ – коэффициенты, зависящие от типа ВВ (для тротила плотностью $1,55 \dots 1,56$ г/см³; $A_{ВВ} = 0,0588$, $\alpha_{ВВ} = 0,89$); σ_t – предел текучести материала при скорости деформации, соответствующей скоростям деформации при взрывной штамповке; ρ_m – характеризует массовую плотность материала (для сталей равна $8 \cdot 10^{-6}$ кгс·с²/см⁴, для алюминиевых сплавов $2,8 \cdot 10^{-6}$ кгс·с²/см⁴ и для титановых сплавов $4,8 \cdot 10^{-6}$ кгс·с²/см⁴); ρ_0 – массовая плотность воды, равная $1,02 \cdot 10^{-6}$ кгс·с²/см⁴.

Можно определить постоянную времени экспоненциального закона спада давления ударной волны по формуле

$$\theta = A_2 \left(\frac{G^{1/3}}{R_3} \right)^{\alpha_2} G^{1/3} \text{ с.}$$

2. Дистанция взрыва

К сожалению, нет достаточно обоснованных расчетных формул определения дистанции взрыва, поэтому на основании опыта можно предложить некоторые эмпирические зависимости для различных случаев. При вытяжке деталей для сосредоточенного заряда

$$R_3 = (0,2 \dots 0,4) D_{\text{изд.}}$$

для рассредоточенного заряда

$$R_3 = (0,1 \dots 0,15) D_{\text{изд.}}$$

При вытяжке толстостенных деталей без прижима

$$R_3 = (0,15 \dots 0,25) D_{\text{изд.}}$$

При вытяжке деталей коробчатой формы и сложных форм для рассредоточенного заряда на первом переходе

$$R_3 = (1,0 \dots 1,2) H,$$

то же на последующих переходах

$$R_3 = (0,6 \dots 0,8) H,$$

где H – высота коробки или глубина вытяжки сложной формы.

При формовке зигов и местных рельефов в зависимости от толщины и свойств материала заряд располагают на расстоянии не менее 100 и не более 200 мм от формируемого участка заготовки.

Для проведения калибровки изделия необходимо заряд помещать таким образом, чтобы давление распределялось равномерно по всей поверхности калибруемого изделия.

3. Программная реализация расчетов

Для расчетов величины заряда составлен алгоритм и выполнена программа, позволяющая производить расчет с выводом графической визуализации данных, на рис. 1 – 4 показаны этапы расчета.

Входные данные		
<input type="radio"/>	Радиус изделия (Riz), см	100
<input type="radio"/>	Высота изделия (hiz), см	20
<input checked="" type="radio"/>	Толщина изделия (s), см	0.1
<input type="radio"/>	Расстояние от центра заряда до заготовки (Rz), см	50
	Марка материала	BT-1Д

Рис. 1. Ввод данных для расчета заряда

Величины, характеризующие материал изделия	
N	7.92E-7
M	0.000128
$1 - \nu^2$ (ν)	0.813
B	90
alfa	0.12

Рис. 2. Определение величин, характеризующих материал изделия

Входные данные			
<input type="radio"/>	Радиус изделия (Riz), см	100	
<input type="radio"/>	Высота изделия (hiz), см	20	
<input checked="" type="radio"/>	Толщина изделия (s), см	0.1	
<input type="radio"/>	Расстояние от центра заряда до заготовки (Rz), см	50	
	Марка материала	BT-1Д	
Расчет			
Результаты промежуточного расчета			
Энергия деформации сферического сегмента			
<input type="radio"/>	$\omega_{\text{сф}}$ (omegasf)	57445.939910551	
<input type="radio"/>	Удельная работа деформации		
<input type="radio"/>	ω (omega)	1.8285610594648	
Расчет			
Выходные данные			
Вес заряда на единицу длины для штамповки линейным зарядом			
<input type="radio"/>	q	0.000230598522579683	
<input checked="" type="radio"/>	Вес заряда для штамповки сферическим зарядом, кг	G	0.000190300425877426
Очистить			
График			

$$\omega_{\text{сф}}^j = \frac{B}{1 + \alpha} \left(\frac{4 h_{\text{сф}} M}{3 R_{\text{сф}}} \right)^{1 + \alpha} \pi R_{\text{сф}}^2 s$$

$$\omega = \frac{\omega_{\text{сф}}^j}{\pi R_{\text{сф}}^2}$$

$$q = \left(\frac{\omega s R_3^{0.55}}{1 - \nu^2} M \right)^{0.8}$$

$$G = \left(\frac{\omega s R_3^{1.8}}{1 - \nu^2} N \right)^{0.8}$$

Рис. 3. Расчет выходных параметров

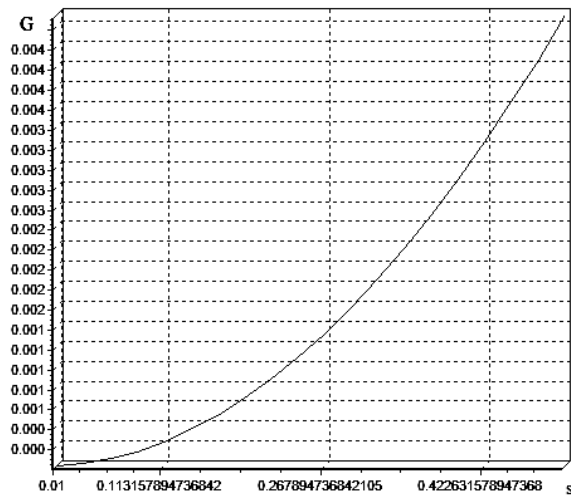


Рис. 4. Графическая визуализация данных

Литература

1. Третьяк В.В. Математическая модель и расчет импульсных технологических процессов в объектном представлении / В.В. Третьяк // Вісті академії інженерних наук. Спеціальний випуск. Машинобудування та прогресивні технології, 2009. – №1(38). – С. 126-133.
2. Степанов В.Г. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций / В.Г. Степанов, П.М. Сипилин, Ю.С. Навагин. – Л., 1966. – 291 с.
3. Пихтовников Р.В. Штамповка листового материала взрывом / Р.В. Пихтовников, В.И. Завьялова. – М., 1964. – 173 с.

Поступила в редакцию 24.05.2010

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

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ВИБУХОВОГО ШТАМПУВАННЯ

В.В. Третьяк, А.В. Онопченко

В статті представлений аналіз методик для розрахунку заряду при виготовленні листових крупних складних деталей методом вибухового штампування. Приведений підхід для оптимізації розрахунку заряду в технологічних процесах вибухового штампування. Проведені розрахунки і виконано порівняння результатів по різних методиках розрахунку заряду. Приведені формули для розрахунку полів тиску. Дані рекомендації для установки заряду і його місцерозташування. Дані рекомендації для коректування величини заряду залежно від виробничих умов. Представлений варіант програмної реалізації розрахунків.

Ключові слова: імпульсні методи, штампування вибухом, технологічний процес, дистанція установки зарядів, вага заряду.

OPTIMIZATION OF COMPUTATIONS OF CHARGE IN TECHNOLOGICAL PROCESSES OF EXPLOSIVE STAMPING

V.V. Tretyak, A.V. Onopchenco

In article the analysis is presented of methods for computation of charge at making of sheet large difficult details by the method of the explosive stamping. Approach is resulted for optimization of computation of charge in the technological processes of the explosive stamping. Computations are made and the comparison is executed of results on different methods of computation of charge. Formulas are resulted for computation of fields of pressure. The recommendations are given for installation of charge and its place of location. The recommendations are given for adjustment of size of charge depending on the production terms. A variant is presented of program realization of computations.

Key words: impulsive methods, stamping by the explosion, technological process, distance of installation of charges, weight of charge.

Третьяк Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент кафедры производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: mint_khai@rambler.ru.

Онопченко Антон Виталиевич – младший научный сотрудник кафедры производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: mint_khai@rambler.ru.