

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Украина*

РАСЧЕТ РАБОТЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ОБЖИМА

Показано, что необходимую мощность импульсного источника энергии при деформировании заготовки можно определить через работу, затраченную на выполнение заданной деформации. Полная работа деформации определяется интегрированием удельной работы по всему объему изделия. Для оценки удельных работ использована зависимость по степенному закону.

пластическое деформирование, импульсный обжим, деформируемое состояние оболочки, тензор деформации, интенсивность деформации, цилиндрическая заготовка

Необходимую мощность импульсного источника энергии при деформировании заготовки можно определить через работу, затраченную на выполнение заданной деформации. Задача может быть решена на основании закона сохранения энергии. Полная работа деформации W_σ может быть определена интегрированием удельной работы a_v по всему объему изделия:

$$W = \iiint_V a_v \cdot dV, \quad (1)$$

где удельная работа a_v является функцией величины деформации в разных точках деформируемой детали.

Для оценки удельных работ a_v используют зависимость по степенному закону:

$$a_i = \frac{B \cdot l_i^{m+1}}{1 + m}, \quad (2)$$

где l_i – интенсивность деформации, B и m – постоянные величины, представленные в табл. 1.

Размерность удельной работы – н/м. Размерность W в дальнейшем

дана в дж.

В процессе обжатия каждый элемент заготовки переходит на профиль детали по сложной траектории.

Таблица 1

Значения параметров m и B для различных материалов

№	Материал	m	B , Па
1	Алюмин. сплав АМЦ-АМ	0,2	$0,22 \cdot 10^9$
2	Алюмин. сплав Д16АМ	0,15	$0,33 \cdot 10^9$
3	Сталь 12Х18Н10Т	0,29	$1,18 \cdot 10^9$
4	Сталь Ст.20	0,17	$0,72 \cdot 10^9$
5	Сталь Ст.3	0,24	$0,77 \cdot 10^9$
6	Сталь 10КП	0,3	$0,5 \cdot 10^9$
7	Титановый сплав	0,12	$1,3 \cdot 10^9$

В общем случае деформированное состояние металла в данной точке описывается симметричными тензорами деформаций, который может быть составлен из шести компонентов l_θ , l_r , l_l , $l_{\theta r}$, l_{rl} , $l_{l\theta}$ и имеет вид:

$$\begin{pmatrix} l_\theta & l_{\theta r} & l_{\theta l} \\ l_{r\theta} & l_r & l_{rl} \\ l_{l\theta} & l_{lr} & l_l \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Вследствие симметрии процесса выполняется:

$$l_{\theta r} = 0; \quad l_{rl} = 0. \quad (4)$$

Если принять гипотезу плоских нормалей (она обычно выполняется для тонкостенных оболочек, $\frac{2 \cdot s}{D_3} < 0,01$), то в первом приближении $l_{rl} = 0$.

Таким образом, деформированное состояние оболочки характеризуется тремя деформациями: l_θ , l_r , l_l , которые при выбранных допущениях (процесс симметричен, выполняется гипотеза плоских нормалей) будут главными.

Для этих деформаций можно принять:

1. Широтная или тангенциальная деформация равна

$$l_\theta = \frac{\Delta D}{D_3}. \quad (5)$$

2. Радиальная или нормальная к поверхности оболочки деформация – как отношение толщины детали к толщине заготовки.

3. Меридианная деформация $l_l = \ln \frac{l}{l_3}$ или

$$l_l = \ln \frac{l}{l_3} = \ln \sqrt{1 + tg^2 \gamma} = \ln \sqrt{1 + \left(\frac{D_3 - D}{2 \cdot l} \right)^2}. \quad (6)$$

Эта величина может быть принята за 0. Следовательно $l_l = 0$.

Из условия постоянства объема: $l_\theta + l_r + l_l = 0$, получим, что $l_\theta = -l_r$.

Интенсивность деформации можно записать:

$$l_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(l_\theta - l_r)^2 + (l_\theta - l_l)^2 + (l_l - l_r)^2} = \frac{2 \cdot l_\theta}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{D_3 - D_i}{D_3} \quad (7)$$

или

$$l_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta D_i}{D_3} \quad (8)$$

Если принять, что образующая заготовки описывается в декартовой системе координат при $y = 0$ как $x = f_1(z)$, а образующая детали при $y = 0$ как $x = f_2(z)$, то можно записать:

$$a(z) = \frac{B \cdot l_i^{m+1}}{1+m} = \frac{B}{1+m} \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_1(z) - f_2(z)}{f_1(z)} \right)^{m+1}. \quad (9)$$

Если заготовку по высоте вдоль оси OZ разбить на кольца, то объем материала i -го кольца можно записать как

$$\Delta V_i = 2\pi \cdot f_1(z) \cdot s \cdot \Delta z_i, \quad (10)$$

где Δz_i – длина i -го участка между точками i и $i+1$. Толщина детали s считается постоянной вдоль оси OZ .

В этом случае работа, необходимая для деформации детали A_D определяется как сумма работ по составляющим поясам i :

$$W = 2\pi \cdot \frac{B}{1+m} \cdot s \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{m+1} \int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{f_1(z) - f_2(z)}{f_1(z)}\right)^{m+1} \cdot f_1(z) \cdot dz \quad (11)$$

Для расчета была выбрана цилиндрическая заготовка постоянного диаметра D_3 с постоянной разбивкой по слоям. Общая длина заготовки 355 мм, диаметр заготовки 696 мм, толщина 2 мм. На длине 178 мм диаметр цилиндрической заготовки изменяется на конус с диаметром 668 мм, а потом на оставшейся длине переходит в срезанный конус диаметром 574 мм. (Образующие представляют собой прямые).

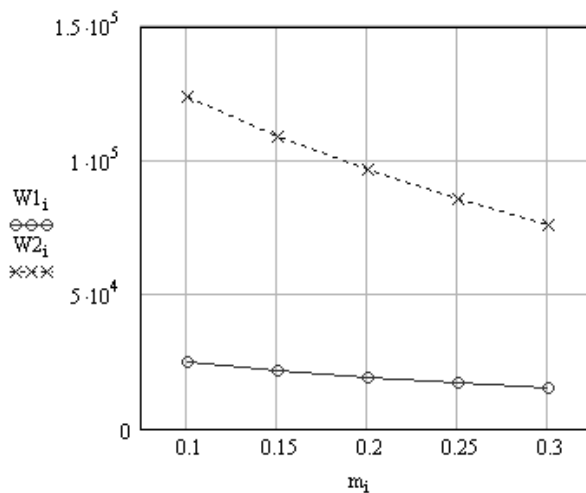


Рис. 1. Работа пластического деформирования в зависимости от параметров m и B

Расчет работы пластического деформирования выполнен в зависимости от параметра m для $B = 0,2 \cdot 10^9$ ($W1$) и $B = 1 \cdot 10^9$ ($W2$) и представлен на рис. 1. Полученные результаты позволяют оценить необходимое количество взрывчатых веществ для обеспечения заданной конфигурации.

Заключение

Работу пластической деформации можно оценить, задав аналитически вид образующих заготовки и детали. По сравнению с существующей технологией получения приведенной детали штамповкой взрывом существует расхождение в оценке количества взрывчатого вещества до 10%.

Поступила в редакцию 2.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина.