

Экспериментальные исследования показали, что шероховатость формообразующих элементов устройства оказывает влияние на целостность получаемых изделий. Высота микронеровностей этих элементов не должна превышать 0,16 мкм.

Оценка энергосиловых параметров процесса проводилась по усилию  $P$ , передаваемому испытательной машиной. Момент "прокатки" определяется из выражения

$$M = Pl_{\text{ср}},$$

где  $l_{\text{ср}}$  — среднее значение плеча.

Установлено, что для получения колец с наружным диаметром 16 мм, внутренним диаметром 7 мм и длиной 10 мм при относительной плотности 80 % требуется момент 4000 Н·м. Проведенные испытания неспеченных втулок плотностью 80 % при сжатии по торцам показали, что механическая прочность их составляет 14000–16000 Па.

Спекание полученных изделий проводили в течение 3 ч при температуре 500–520 °С в различных средах: диссоциированном аммиаке, водороде, аргоне и вакууме. Наилучшие результаты были получены при спекании в среде аргона.

Механическая прочность при осевом сжатии втулок после спекания достигла 65000–70000 Па.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К л а с с о н П.В., Г р и ш а е в И.Г. Основы техники гранулирования. — М.: Химия, 1982. — 272 с.

УДК 531.781.2

О.М. ДЬЯКОНОВ, канд. техн. наук (БПИ)

### ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ УДАРА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ ПОЛОСТЕЙ

Процесс высокоскоростного выдавливания полости в заготовке требует точной дозировки эффективной энергии удара, т.е. начальной кинетической энергии бойка. Величина этой энергии зависит от реологического состояния и свойств материала заготовки, степени деформации, геометрической формы и размеров полости.

Расчет эффективной энергии сводится к отысканию начальной скорости деформирования  $v_0$  по заданной глубине полости  $S$ . Для случая закрытой прошивки круглой заготовки 1 цилиндрическим бойком 2 (рис. 1) скорость  $v_0$  можно найти, решив совместно следующие уравнения:

$$\frac{m}{2} [v_0^2 - (v_0^*)^2] = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{v_0^* \Delta t}{3} \left\{ kF_1(\lambda) + \rho \left(\frac{v_0^*}{3}\right)^2 F_2(\lambda) + \right.$$

$$+ \frac{v_0^* \rho}{\Delta t} \cdot \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi \lambda}{1+\lambda}} \cdot [F_3(\lambda) + \frac{v_0^* \Delta t}{6} \cdot \frac{\lambda(1+\lambda)\sqrt{1+\lambda}}{d\sqrt{\pi \lambda}} ] \}; \quad (1)$$

$$[(v_0^*)^2 + \frac{k}{\rho} C_1] \left( \frac{1_{\text{пр}} + \Delta h}{1_{\text{пр}} + h_{\text{к}}} \right)^{C_2} - \frac{k}{\rho} C_1 = 0, \quad (2)$$

где  $v_0^*$  – скорость бойка в конце этапа разгона присоединенной массы металла;  $\Delta h$ ,  $\Delta t$  – соответственно значение и длительность этапа разгона;  $m$ ,  $d$  – соответственно масса и диаметр бойка;  $k$  – постоянная пластичности деформируемого металла;  $\rho$  – плотность металла;  $\lambda$  – обжатие ( $\lambda = \frac{d^2}{D^2 - d^2}$ ). Здесь  $D$  – диаметр заготовки.

Выражение (1) есть уравнение диссипации энергии бойка на этапе разгона присоединенной массы. Уравнение (2) представляет собой равенство нулю скорости деформирования в конце этапа торможения всей системы. По окончании процесса путь деформирования  $h$  принимает конечное значение  $h_{\text{к}}$ , однозначно связанное с заданной глубиной прошивки  $h_{\text{к}} = S/(1 + \lambda)$ .

Характеристика этапов ударной прошивки и значения коэффициентов уравнений  $F_1(\lambda)$ ,  $F_2(\lambda)$ ,  $F_3(\lambda)$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  для случая осесимметричной деформации приведены в работах [1,2].

Работа деформации определяется по формуле  $A_{\text{ц}} = mv_0^2/2$ , а эффективная энергия удара с учетом упругих свойств материалов бойка и заготовки равна

$$E_{\text{эф}} = \frac{A_{\text{ц}}}{\eta} = \frac{mv_0^*}{2\eta},$$

где  $\eta$  – кпд удара.

Для расчета эффективной энергии при выдавливании полости произвольной формы вращения впишем эту форму в цилиндр (рис. 1) и введем поправочный эмпирический коэффициент формы

$$E_{\text{эф}} = \frac{k_{\text{ф}} A_{\text{ц}}}{\eta} = \frac{k_{\text{ф}} mv_0^2}{2\eta}.$$

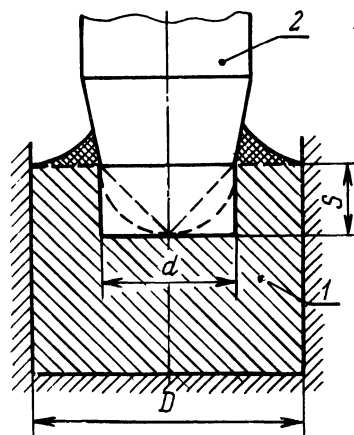


Рис. 1. Закрытое выдавливание полостей форм вращения.

При экспериментальном определении коэффициента формы необходимо учитывать выпучивание свободной поверхности заготовки. Выдавленная полость должна находиться ниже уровня слоя металла, подлежащего удалению при последующей механической обработке. Только при этом условии найденное для нее значение  $k_{\phi}$  пригодно для расчета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов О.М. Решение плоской динамической задачи ударного выдавливания полостей приближенным энергетическим методом. – В сб.: Металлургия. Минск: Выш. шк., 1980, вып. 14, с. 125–129. 2. Дьяконов О.М. Энергетические условия подobia плоской и осесимметричной прошивки. – В сб.: Металлургия. Минск: Выш. шк., 1982, вып. 16, с. 162–167.

УДК 621.791.044

В.И. БЕЛЯЕВ, д-р техн.наук,  
В.Н. КОВАЛЕВСКИЙ, канд.техн.наук,  
Г.М. СЕНЧЕНКО (БПИ)

#### РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СЛОИСТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

В работе рассматривается изготовленная сваркой взрывом биметаллическая трубная заготовка, находящаяся под действием поверхностной распределенной нагрузки  $q$  и осевого усилия  $P$ .

В качестве исходной предпосылки расчета принята гипотеза недеформируемых нормалей, по которой цилиндрическая оболочка после деформации остается телом вращения. В общем случае для слоистой цилиндрической оболочки нормальные напряжения каждого из слоев определяют по следующим формулам:

$$\sigma_s^i = - \frac{\Delta_{11}^i}{\Omega_0} \frac{dV}{dS} + \left( \frac{K_{11} \Delta_{12}^i - K_{12} \Delta_{11}^i}{\Omega_0} - \gamma B_{11}^i \right) \frac{dW}{dS} + \frac{\Delta_{12}^i}{\Omega_0} \frac{1}{R} F_1(S),$$

$$\sigma_{\varphi}^i = \frac{\Delta_{12}^i}{\Omega_0} \frac{dV}{dS} - \left( \frac{K_{11} \Delta_{11}^i - K_{12} \Delta_{12}^i}{\Omega_0} + \gamma B_{12}^i \right) \frac{dW}{dS} - \frac{\Delta_{11}^i}{\Omega_0} \frac{1}{R} F_1(S).$$

Как видно, расчет напряжений в слоях сводится к нахождению искомых функций  $V = V(S)$  и  $W = W(S)$ , которые можно определить из уравнения

$$\frac{d^2 \zeta}{dS^2} - K \zeta = \Psi(S) \quad (1)$$

с помощью комплексной функции [1]:

$$\zeta = W + i \sqrt{\frac{C_{11}}{\Omega_0 (D_{11} - D_{11}^0)}} V. \quad (2)$$