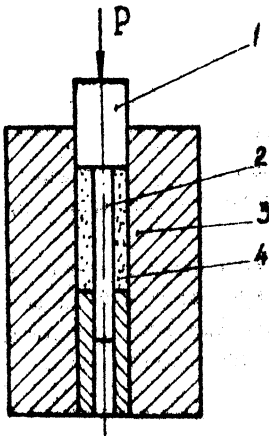


ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ  
МЕТОДОМ ПОДВИЖНОЙ ИГЛЫ

Прогресс в порошковой металлургии в значительной степени зависит как от создания новых методов прессования деталей, так и от совершенствования существующих способов. Одной из основных проблем процесса прессования является получение изделий с равномерной плотностью, что повышает их прочность и стойкость, а главное — обеспечивает стабильность их свойств. Определенные трудности возникают при изготовлении длинномерных деталей с равномерным распределением плотности по длине.



Объектом нашего исследования является известный способ прессования подвижной иглой 2 (рис. 1). Рассмотрим некоторые теоретические вопросы этого способа с целью изучения силовых параметров, а также выявления условия получения деталей с равномерной плотностью по длине. Выделим осесимметричный элемент (рис. 2) и запишем уравнение равновесия действующих сил

Рис. 1. Схема прессования методом подвижной иглы:  
1 — верхний пуансон;  
2 — игла; 3 — матрица;  
4 — порошок.

$$\sum P_z = 0$$

$$(P_z + dP_z) \pi \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right) + P_z f_s f_n \pi d dz - P_z \pi \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right) - P_z f_n f_n \pi D dz = 0 \quad (1)$$

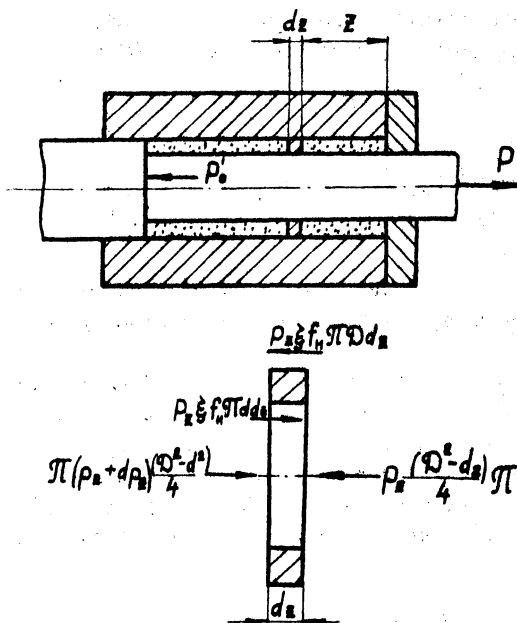


Рис.2. К определению силовых параметров процесса прессования методом подвижной иглы:  
 $D$  и  $d$  - наружный и внутренний диаметры прессовки;  $f_0$  и  $f_n$  - коэффициенты внешнего трения порошка по наружной и внутренней поверхности;  $F$  - коэффициент бокового давления

Упростив и проинтегрировав уравнение (I), получим

$$P_z = C \cdot e^{mz} \quad (2)$$

Определим постоянную интегрирования  $C$  из условия при  $z=h$   $P_z = P'_0$ . Тогда

$$P_z = P_0 \exp \left[ -A\beta \left(1 - \frac{z}{h}\right) \right], \quad (3)$$

где  $P'_0$  - давление на торце пуансона (иглы);  
 $\beta$  - относительный объем, равный  $\beta = \frac{h}{h_k}$ ;

$h$  - высота брикета в процессе прессования;  
 $h_k$  - высота брикета, соответствующая 100% плотности.

$$A = m \cdot h_k \quad (4)$$

$$m = \frac{F(f_n L_n - f_s L_s)}{S_n}, \quad \text{так как} \quad F_n = F_s. \quad (5)$$

Уравнение (3) описывает характер изменения давления по длине прессовки в зависимости от физических и геометрических параметров детали.

Рассмотрим условие получения равномерной плотности по длине прессовки. Равномерная плотность может быть получена тогда, когда потери давления по длине заготовки, вызванные трением о поверхность матрицы, будут полностью компенсироваться воздействием на порошок направляющей части иглы. В этом случае давление в любом сечении заготовки  $P_z$  должно быть равно давлению на торце иглы:

$$P_z = P'_0.$$

Из уравнения (3) следует, что это возможно, когда

$$m = \frac{F(f_n L_n - f_s L_s)}{S_n} = 0,$$

$$\text{т.е.} \quad f_n L_n = f_s L_s \quad (6)$$

Таким образом, для получения равномерной плотности по длине необходимо, чтобы коэффициент трения порошка по поверхности иглы был равен

$$f_s = \frac{L_n}{L_s} \cdot f_n = \frac{D}{d} f_n, \quad (7)$$

где  $D$  и  $d$  - наружный и внутренний диаметр заготовки.  
 Определим значение усилия прессования  $P$  осесимметричной

детали, полученной методом прессования подвижной иглой. Очевидно, что

$$P = p'_0 S_n + \int_0^h f_s \xi L_s p_z dz, \quad (8)$$

где  $P$  - усилие прессования;  
 $p'_0 S_n$  - усилие от давления на торец иглы;  
 $\int_0^h f_s \xi L_s p_z dz$  - сила трения порошка о поверхность иглы.  
 Учитывая выражение (2) и преобразуя уравнение (8), получим

$$P_z = \frac{p e^{mz}}{S_n e^{mh} + \frac{f_s \xi L_s (e^{mh} - 1)}{m}} \quad (9)$$

Уравнение (9) описывает характер изменения давления по длине прессовки в зависимости от тягового усилия уплотнения, геометрических и физических параметров детали.

Определим среднее давление  $P_z \text{ ср.}$  из выражения (9), представив его в виде

$$P_z = B e^{mz}, \quad (10)$$

где

$$B = \frac{p}{S_n e^{mh} + \frac{f_s \xi L_s (e^{mh} - 1)}{m}} \quad (11)$$

Тогда

$$P_z \text{ ср.} = \frac{\int_0^h p dz}{h} \quad (12)$$

Принтегрировав выражение (12), получим

$$P_z \text{ ср.} = \frac{p (e^{mh} - 1)}{[S_n e^{mh} m + f_s \xi L_s (e^{mh} - 1)] \cdot h} \quad (13)$$

Уравнение (13) дает нам значение среднего давления как функцию от различных параметров, включая усилия прессования.

Применив формулу Г.М.Ждановича [1] для "нетто" - давления  $p_n$ , равного  $p_{z\text{ ср}}$ , и подставив его (выражение 14) в уравнение (13), получим (15):

$$p_n = p_{z\text{ ср}} = p_k \frac{(\beta_0 v_{\text{ср}}^n)^n - 1}{\beta_0^n - 1} ; \quad (14)$$

$$p = \frac{p_k [(\beta_0 v_{\text{ср}}^n)^n - 1] [S_n e^{mh} m + f_s L_s (e^{mh} - 1)] h}{(\beta_0^n - 1) (e^{mh} - 1)} , \quad (15)$$

где  $n$  - показатель упрочнения;  
 $\beta_0$  - начальный относительный объем;  
 $v_{\text{ср}}^n$  - средняя относительная плотность прессовки.

Формула (15) позволяет определить в общем виде усилие прессования в зависимости от требуемой средней плотности, прессовки ее высоты, коэффициентов трения и бокового давления и т.д.

Установим также закон изменения плотности по длине прессовки. Используя выражения (9) и (14), получим

$$p = \frac{[p_k (\beta_0 v_z^n)^n - 1] S_n \left[ e^{mh} + \frac{f_s L_s (e^{mh} - 1)}{f_n L_n - f_s L_s} \right]}{(\beta_0^n - 1) e^{mz}} . \quad (16)$$

Выясним характер изменения относительной плотности по длине детали

$$v_z = \left\{ \frac{p (\beta_0^n - 1) e^{mz}}{\beta_0^n S_n p_k \left[ e^{mh} + \frac{f_s L_s (e^{mh} - 1)}{f_n L_n - f_s L_s} \right]} + \frac{1}{\beta_0^n} \right\}^{\frac{1}{n}} . \quad (17)$$

Определим силовые параметры процесса для случая получения равномерной плотности. Усилие прессования  $P$  при  $m=0$  будет иметь следующее значение:

$$P = p_k \frac{[(\beta_0 v_{sp})^n - 1]}{(\beta_0^n - 1)} (S_n + f_c L_0 \xi h), \quad (18)$$

либо

$$P = p_k \frac{[(\beta_0 v_{sp})^n - 1]}{(\beta_0^n - 1)} (S_n + f_n L_n \xi h). \quad (19)$$

Таким образом, вышеизложенное позволяет:

1. Установить характер изменения давления по длине прессовки в зависимости от физических и геометрических параметров (3) и от усилия прессования (9).
2. Определить условия получения прессовок с равномерным распределением плотности (6).
3. Определить значение усилия прессования (15), (18), (19).
4. Установить характер изменения относительной плотности по длине детали (17).

#### Л и т е р а т у р а

1. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. М., "Металлургия". 1969.
2. Мерсон Г.А. Вопросы порошковой металлургии. Изд. АН УССР, 1955.