

## РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ И СКОРОСТИ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПРИ УДАРНОМ ПРЕССОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Л.С.Богинский, Т.Ф.Богинская

В последние годы в порошковой металлургии все большее распространение получают способы прессования порошков с использованием импульсных методов нагружения. Скоростное прессование позволяет получать высокоплотные изделия с более равномерной плотностью по высоте, крупногабаритные изделия и изделия из труднопрессуемых материалов без применения дорогостоящих мощных прессов /1,2/. Равновидностью импульсных методов уплотнения металлических порошков является ударное прессование, при котором кинетическая энергия движущегося тела переходит в работу прессования.

Для сообщения движения телу-бойку применяют энергию взрывчатых веществ, импульсных электрических разрядов и другие виды энергии /3,4/.

Ударное прессование порошков перед формированием на прессах имеет одну отличительную особенность, что процесс уплотнения осуществляется за малый промежуток времени. Известно, что уменьшение времени деформации сопровождается повышением сопротивления деформированию, что можно объяснить недостаточностью времени, которое необходимо для полного осуществления пластической деформации частиц порошка.

Переход от статических скоростей к ударным вносит различие во внешнее и межчастичное трение металлического порошка. Таким образом определение времени прессования представляет большой научный интерес, так как этот параметр оказывает влияние на уплотняемость металлического порошка.

Кроме того, время прессования следует учитывать при конструировании измерительных устройств для регистрации импульсных давлений и перемещений при ударном прессовании.

Рассмотрим случай уплотнения порошка в прессформе одностороннего прессования движущимся телом. Уравнение движения тела, осуществляющего прессование, имеет вид:

$$m_n \frac{d\alpha}{dt} = -P_u(\alpha) S_n, \quad (1)$$

где  $m_n$  - приведенная масса соударяющихся тел;  
 $\alpha$  - перемещение пуансона:  $\alpha = h_0 - h$ ;  
 $h_0$  - первоначальная высота прессовки;  
 $h$  - высота прессовки в процессе прессования;  
 $P_u(\alpha)$  - импульсное удельное давление прессования;  
 $S_n$  - номинальная площадь сечения прессовки.

Как показали исследования и расчеты [5], в качестве уравнения, отражающего процесс прессования, может быть принято следующее:

$$P_{CT} = P_{KP} \left(\frac{\alpha}{\alpha_K}\right)^b, \quad (2)$$

где  $b$  - коэффициент, определяемый опытным путем для каждого металлического порошка и каждой порошковой смеси;  
 $\alpha_K$  - конечное перемещение пуансона при прессовании:  
 $\alpha_K = h_0 - h_K$ ;  
 $h_K$  - критическая высота прессовки, соответствующая 100% плотности;

$P_{KP} = const$  - критическое давление истечения максимально упрочненного металла.

Подставляя уравнение (2) в уравнение (1) и интегрируя полученное уравнение при начальных условиях  $t = 0$ ;  $\alpha = 0$ ;  $\frac{d\alpha}{dt} = V_0$ , получим

$$\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2 - V_0^2 = -\frac{2P_K S_n}{m_n \alpha_K^b} \int_0^\alpha \alpha^b d\alpha, \quad (3)$$

где  $V_0$  - скорость тела в начальный момент прессования.

Учитывая условия, что при  $\frac{d\alpha}{dt} = 0$   $\alpha = \alpha_{max}$  уравнение (3) преобразуется:

$$V_0^2 = \frac{2P_K S_n}{m_n \alpha_K^b} \int_0^{\alpha_{max}} \alpha^b d\alpha. \quad (4)$$

Время, в течение которого осуществляется прессование, определим из уравнения (3):

$$T = \int_0^{\alpha_{max}} \frac{d\alpha}{\sqrt{V_0^2 - \frac{2P_K S_n}{m_n \alpha_K^b} \int_0^\alpha \alpha^b d\alpha}}. \quad (5)$$

Подставляя значение  $V_0$  из уравнения (4) в формулу, получим следующее выражение:

$$T = \sqrt{\frac{m_p(b+1)\alpha k}{2P_k S_H}} \int_0^{\alpha_{max}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_{max}^{b+1} - \alpha^{b+1}}} \quad (6)$$

Уравнение (5) и (6) весьма трудно использовать при практических расчетах. Положим, что

$$y = \frac{\alpha}{\alpha_{max}}; \quad y^{b+1} = x.$$

Тогда интегралу в уравнении (6) можно придать удобный вид:

$$\int_0^{\alpha_{max}} \frac{d\alpha}{\alpha_{max}^{b+1} - \alpha^{b+1}} = \frac{1}{\alpha_{max}^{\frac{b+1}{2}}} \int_0^{\alpha_{max}} \frac{\alpha_{max} dy}{\sqrt{1-y^{b+1}}} = \frac{1}{\alpha_{max}^{\frac{b+1}{2}} (b+1)} \int_0^1 x^{\frac{b}{b+1}} (1-x)^{\frac{1}{2}} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha_{max}^{\frac{b+1}{2}} (b+1)} F(b)$$

$$\text{где } F(b) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{b+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{3+b}{2(b+1)}\right)}$$

- отношение гамма-функций, вычисляемое по таблицам специальных функций.

Используя соотношение (3), уравнение (6) можно привести к виду

$$T = \frac{\alpha_{max} \sqrt{\pi} F(b)}{V_0(b+1)} \quad (7)$$

Для практических целей желательно представить уравнение как функцию от плотности прессовки  $\gamma$ :

$$T = \frac{\sqrt{\pi} h_0 F(b)}{V_0(b+1)} \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma}\right), \quad (8)$$

где  $\gamma_0$  - плотность порошка перед прессованием.

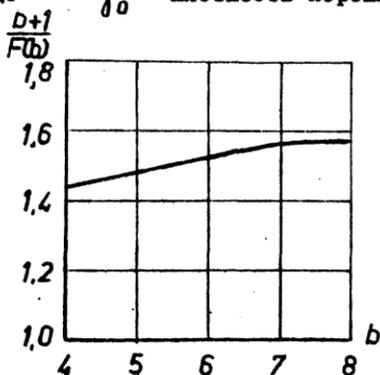


Рис. 1.

Зависимость отношения  $\frac{D+1}{F(b)}$  от коэффициента  $b$ .

Введем понятие скорости уплотняемости  $V_{уп}$ , под которой будем понимать относительное изменение высоты прессовки за определенный промежуток времени по аналогии со скоростью деформации при обработке металлов давлением:

$$V_{уп} = \frac{\alpha}{h_0 T} = \frac{V(b+1)}{h_0 \sqrt{\pi} F(b)} (\text{сек})^{-1} \quad (9)$$

Представленные уравнения (8) и (9) позволяют считать, что время прессования и скорость уплотняемости определяются начальной скоростью,

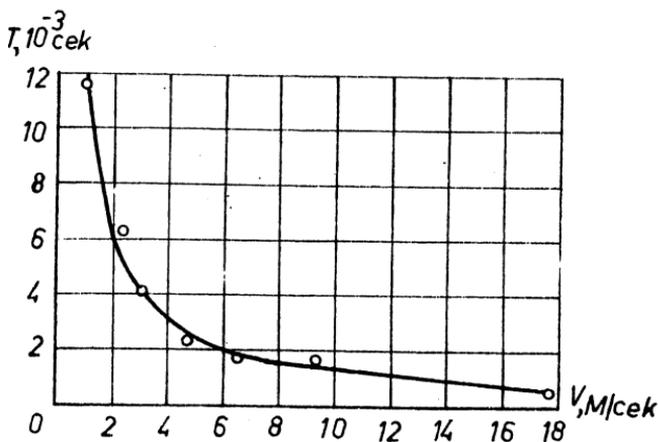


Рис. 2.

Зависимость времени прессования от начальной скорости ( $Fe; h_0 = 18$  мм;  $b = 7$ ):

— расчетная кривая по уравнению (8);  
 о — значения экспериментальных данных.

величиной начальной и конечной плотности, соответствующей времени прессования  $T$ , и константой  $b$ .

Для удобства практических расчетов на рис. 1 представлен график  $\frac{b+1}{F(b)} = f(b)$ , свидетельствующий о том, что величина  $\frac{b+1}{F(b)}$  изменяется незначительно с изменением  $b = 6+8$ . В этом случае с достаточной точностью зависимости (8) и (9) могут быть представлены как

$$T = \frac{\alpha \cdot 1,2}{V_0}; \quad V_{yn} = \frac{V_0}{h_0 \cdot 1,2} \text{ (сек}^{-1}\text{)}.$$

Для проверки теоретических выводов были проведены экспериментальные исследования ударного прессования. Уплотнялся восстановленный железный порошок на копке вертикального типа. Прессовки имели форму цилиндра диаметром 16 мм. Регистрация усилий прессования проводилась упругим динамометром с проволочными датчиками сопротивления. В наших исследованиях использовалась тензометрическая установка УТС1-ВТ-12, шлейфовый осциллограф Н-102. Время прессования определялось по осциллограммам.

На рис. 2 изображена расчетная зависимость времени, определяемого по формуле (8), и представлены экспериментальные значения времени уплотнения от начальной скорости. График свидетельствует о высокой точности расчетных зависимостей времени прессования. Видно

также, что увеличение начальной скорости движущегося тела вызывает резкое уменьшение времени прессования. Так, при скорости  $V_0 = 15$  м/сек время прессования меньше 0,001 сек ( $h_0 = 18$  мм). В этом случае для регистрации импульсных процессов необходимы измерительные устройства, имеющие высокую собственную частоту. Поэтому формулой можно также пользоваться при проектировании измерительных устройств.

### Л и т е р а т у р а

1. Бауман Р.К., Лобашов Б.П. Обзор методов взрывного прессования порошков. Сб. трудов "Порошковая металлургия". ЦНИИЧМ, вып. 43, М., 1965.
2. Кабельский И.М., Богинский Л.С. Электроимпульсное прессование в порошковой металлургии. "Промышленность Белоруссии", №6, 1966.
3. Кононенко В.Г., Фролова Н.П. Прессование порошков на копре. Сб. Новое в технологии штамповочного производства, Киев, 1961.
4. Дорофеев Ю.Г. Использование метода динамической металлокерамики в стружковой и порошковой металлургии. Новочеркасское книжное издательство, Новочеркасск, 1966.
5. Роман О.В., Богданов А.П. Некоторые вопросы теории динамического прессования металлических порошков. Известия АН БССР, №3, серия физико-технических наук, "Наука и техника", Минск, 1965.