ФОРМОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ В ЖЕСТКОЙ ЦИЛЛИНДРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ С УЧЕТОМ СИЛ ТРЕНИЯ НА СТЕНКАХ

Иванов В.Н.
Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)

In view of a condition of a toughness for powder materials, components of a tensor of the efforts are defined, allowing to define performances of processes of formation or to predict behaviour of pressings during sintering.

Прессование в закрытой матрице широко применяется для формования порошков. В простейшем варианте прессование производится в неподвижном стакане. В усовершенствованных схемах все пресс-элементы могут быть подвижными, что дает возможность уменьшить внешнее трение и получить изделия повышенного качества. Однако, всегда один из элементов, например матрицу, можно считать неподвижным. Прессование в закрытой матрице рассматривалось в работах [1, 2, 3, 4 и др.].

Одной из основных задач при прессовании порошковых заготовок является получение с равномерным распределением плотности по высоте (особенно при формовании относительно высоких заготовок с отношением высоты к диаметру $h/d > 1$). Исследованию этого процесса посвящены работы [1, 2, 3 и др.].

Рассмотрим случай формования порошковых материалов односторонним прессованием в закрытой цилиндрической матрице. Дифференциальное уравнение, описывающее этот процесс имеет вид:

$$\frac{\partial \sigma_{\mathrm{z}}}{\partial z} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\tau_{\mathrm{rz}}\right) = 0 . \tag{1}$$

Выражение (1) можно записать в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\tau_{\mathrm{rz}}\right) = -\frac{\partial \sigma_{\mathrm{z}}}{\partial z} r . \tag{2}$$

Интегрируя (1) с необходимыми граничными условиями симметрии, $\tau_{\mathrm{rz}}\big|_{\mathrm{r=0}}$, определим величину касательного напряжения

$$\tau_{\mathrm{rz}} = -\frac{d\sigma_{\mathrm{z}}}{dz}\frac{r}{2} . \tag{3}$$

Условие пластичности, полученное ранее автором:

$$\frac{\tau^2}{A^2} + \frac{\left(\sigma_0 + C\right)^2}{B^2} = 1 \tag{4}$$

Где τ - касательное напряжение по площадке сдвига в материале; σ_0 - гидростатическое давление; A, B и C - параметры, определяемые в зависимости от относительной плотности, т.е. являющимися функциями состояния материала;

Можно записать в виде:

$$\frac{(\sigma_z-\sigma_r)^2+4\tau_{rz}^2}{A^2}+\frac{(\sigma_0+C)^2}{B^2}=1 \qquad (4.a)$$

где $\sigma_o=\dfrac{(\sigma_z-\sigma_r)}{2}$ – гидростатическое давление.

Из уравнения (3) видно, что закон касательного напряжения в очаге деформации линейный, поэтому определим его в виде

$$\tau_{rz}=\tau_к\frac{r}{R} \qquad (5)$$

где R – радиус матрицы; $\tau_к$ – касательное напряжение на границе (стенка матрицы), определяется формулой

$$\tau_к=\begin{cases}\mu\sigma_r & \text{при} \quad \mu\sigma_r<\kappa;\\ \kappa & \text{при} \quad \mu\sigma_r<\kappa,\end{cases} \qquad (6)$$

где μ – коэффициент трения; κ – предел текучести на сдвиг.

Подставляя последовательно (6) в (5), а затем в (3) получим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}\dfrac{d\sigma_z}{dz}=-\dfrac{2\mu\sigma_z}{R} & \text{при} \quad \mu\sigma_r<\kappa;\\ \dfrac{d\sigma_z}{dz}=-\dfrac{2\kappa}{R} & \text{при} \quad \mu\sigma_r\ge\kappa.\end{cases} \qquad (7)$$

Граничным условием для системы (7) является условие

$$\sigma_z\big|_{z=h}=\sigma_r\,, \qquad (8)$$

где σ_r – напряжение на границе контакта пуансона с прессовкой; h – высота прессовки.

Решая второе уравнение (7) с граничным условием (8) получим условие пластичности (4) в упрощенной форме:

$$\frac{(\sigma_z-\sigma_r)^2}{A^2}+\frac{\left[\left(\dfrac{\sigma_z+\sigma_r}{2}\right)+C\right]^2}{B^2}=1\,. \qquad (9)$$

Из уравнения (9) определим связь между σ_r и σ_z

$$\sigma_{r_{1,2}}=\frac{-\left(A^2C-2B^2\sigma_z+A^2\sigma_z\right)}{2\left(B^2+\dfrac{A^2}{2}\right)}\pm$$

$$\pm\frac{\sqrt{\left(A^2C-2B^2\sigma_z+A^2\sigma_z\right)^2-4\left(B^2+\frac{A^2}{2}\right)\times\left[\left(\frac{A^2}{2}+B^2\right)\sigma_z^2+A^2C\sigma_z+A^2C^2-A^2B^2\right]}}{2\left(B^2+\frac{A^2}{2}\right)}. \qquad (10)$$

Подставляя (10) в (7) и решая полученное уравнение с граничным условием (8), определим σ_z, т.е. уравнения (7) примут вид:

$$\begin{cases}\dfrac{d\sigma_z}{dz}=-\dfrac{2\mu\sigma_z}{R} & \text{при} \quad \mu\sigma_r<\kappa \quad \text{с учетом (10);}\\ \sigma_z=\sigma_r-\dfrac{2\kappa z}{R} & \text{при} \quad \mu\sigma_r\geq\kappa.\end{cases} \qquad (11)$$

Зная компоненты тензора напряжений σ_z и σ_r можно определить гидростатическое давление в сечениях прессовки и используя компрессионную зависимость требуемого порошкового материала определить, например, характер распределения плотности по объему, а следовательно, предсказать как поведет себя прессовка в процессе спекания. Решение задачи реализуется на ЭВМ, при этом имеется возможность широкого варьирования технологическими, физическими и геометрическими параметрами. В случае необходимости можно решать и обратную задачу, по заданным свойствам заготовки перед спеканием определить требуемые характеристики процесса формования, обеспечивающие необходимые свойства.

Литература:

1. Жданович Г.М. Теория прессования металлургических порошков.- М.:Металлургия,1969.-262с.
2. Феноменологические теории прессования порошков/М.Б.Штерн, Г.Г.Сердюк, Л.А.Максименко и др.-Киев: Наук. думка, 1982.-140с.
3. Перельман В.Е. Формование порошковых материалов.- М.:Металлургия,1979.-232с.
4. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел.- М.:Машиностроение.-1985.-360с.