

В данном случае инструмент выполняется в виде оправки с подвижными опорными кольцами, между которыми образуется впадина гофра под воздействием усилия, прикладываемого к трубке посредством ролика шириной, соответствующей шагу радиальной подачи.

Таким образом, анализ существующих способов механической осадки труб (процессов накатки канавок) с целью использования для изготовления сильфонов с высокими степенями гофрирования ($\epsilon_\theta > 0,5$) показал ограниченность их технологического применения. Достоинство предложенного процесса накатки гофров заключается в возможности управления соотношением компонент деформаций в процессе деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов - Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л., 1978. — 368 с. 2. Шляховой В.С. Разработка и внедрение технологии изготовления сильфонных труб с регламентированными свойствами: Дис. ...канд. техн. наук. — М., 1983. — 216 с.

УДК 621.762

Л.А.ИСАЕВИЧ, А.А.ВЕРЕМЕЙЧИК

ОДНОСТОРОННЕЕ ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Рассмотрим осесимметричную задачу одностороннего прессования порошковых брикетов. Порошковую среду принимаем однородной, изотропной, сжимаемой, жесткопластической и упрочняющейся. Напряженно-деформированное состояние порошка определим в цилиндрической системе координат x, φ, z (рис. 1).

В качестве допущений принимаем, что внешнее трение в процессе деформирования отсутствует и радиальное перемещение уплотняемого порошка равно нулю. Следовательно, напряженное состояние в очаге деформации является однородным и распределение пористости также однородно, т.е. параметр θ_1 представляет собой среднюю по деформированному объему пористость.

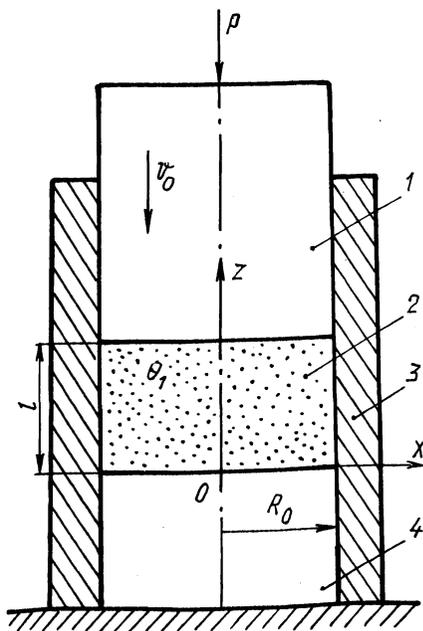


Рис. 1. Схема процесса одностороннего прессования порошковых брикетов:
1, 4 — верхний и нижний пуансоны;
2 — порошок; 3 — матрица

Для одностороннего прессования скорость перемещения деформируемого материала определяем по формуле [1]

$$v_z = v_0(z/l),$$

где v_0 — скорость перемещения пуансона; l — высота спрессованного брикета.

На основании принятых допущений из уравнений равновесия [2] следует:

$$\tau_{xz} = \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = 0, \sigma_x = \sigma_\varphi,$$

а из соотношений, связывающих компоненты тензора скоростей деформации и вектора скорости перемещения, получаем

$$v_x = e_x = e_\varphi = \gamma_{xz} = 0.$$

Осевую компоненту тензора скоростей деформации и, следовательно, скорость относительного изменения объема, а также интенсивность скоростей деформации сдвига найдем соответственно из выражений:

$$e_z = e = \frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{v_0}{l}, H = \frac{2}{\sqrt{3}} e_z = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{v_0}{l}. \quad (1)$$

Гидростатическое давление и интенсивность касательных напряжений устанавливаем по формулам:

$$\sigma = \frac{\sigma_z + 2\sigma_x}{3}, T = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Совместное решение условия пластичности и следствия из ассоциированного закона пластического течения, приведенных в [3], а также выражений (1), (2) позволяет определить радиальные и осевые напряжения в очаге деформации при одностороннем прессовании:

$$\sigma_x = \frac{[2(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1})^2 - (1 - \theta_1)^3] \sigma_s}{3[(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1})^2 + (1 - \theta_1)^3]^{0,5}},$$

$$\sigma_z = \frac{2}{3} [(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1})^2 + (1 - \theta_1)^3]^{0,5} \sigma_s, \quad (3)$$

где θ_0 — пористость насыпки; σ_s — напряжение текучести материала порошка, которое вычисляется по формуле, приведенной в [4].

Для одностороннего прессования порошков

$$\sigma_s = \sigma_T + A \{ 100 \{ \exp [\frac{2\sqrt{2}}{3} (\arcsin \sqrt{\theta_0} - \arcsin \sqrt{\theta_1})] - 1 \} \}^n,$$

где σ_T — начальное напряжение текучести материала порошка в отожженном состоянии при одноосном нагружении; A, n — коэффициенты, зависящие от механических свойств материала.

С помощью метода баланса мощностей при условии, что наложение внешнего трения не влияет на распределение напряжений и изменение пористости в очаге деформации, получаем формулу для нахождения давления одностороннего прессования:

$$p = \sigma_z + \mu \sigma_x (l/R_0), \quad (4)$$

где μ — коэффициент трения скольжения.

После подстановки σ_x, σ_z из уравнений (3) в (4) получим выражение, определяющее давление одностороннего прессования порошка:

$$p = \left\{ \frac{2}{3} \left[\left(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1} \right)^2 + (1 - \theta_1)^3 \right]^{0,5} + \frac{\mu \left[2 \left(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1} \right)^2 - (1 - \theta_1)^3 \right]}{3R_0 \left[\left(\ln \frac{\theta_0}{\theta_1} \right)^2 + (1 - \theta_1)^3 \right]^{0,5}} \right\} \sigma_s. \quad (5)$$

Сравним зависимости (4) и (5) с решением этой задачи, полученным в рамках контактной теории прессования порошков. В [1] приведена интерполяционная формула, которая с достаточной для практических целей точностью описывает процесс уплотнения порошка, в частности и методом одностороннего прессования:

$$p_D = \frac{(1 - \theta_1)^m - (1 - \theta_0)^m}{1 - (1 - \theta_0)^m} p_K, \quad (6)$$

где p_D — давление одностороннего прессования при условии отсутствия внешнего трения; p_K — давление истечения максимально уплотненного материала; m — показатель упрочнения.

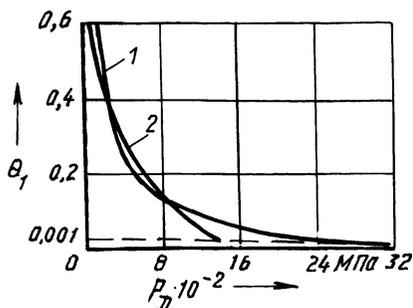


Рис. 2. Зависимость пористости спрессованного брикета от давления одностороннего прессования порошка: 1 — найденного по формуле (5); 2 — (6)

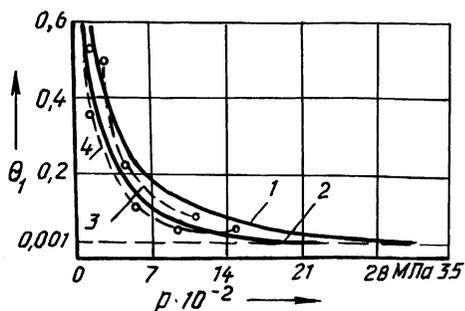


Рис. 3. Зависимость пористости брикета от давления одностороннего прессования при $l = 6$ мм, $R_0 = 12$ мм: 1, 3 — железный порошок; 2, 4 — медный порошок; 1, 2 — расчет; 3, 4 — эксперимент

На рис. 2 приведены зависимости пористости брикета от давления одностороннего прессования для порошка железа при $m = 4,52$, $p_K = 1486$ МПа [1], $\sigma_T = 208$ МПа, $A = 13,2$ МПа, $n = 0,73$ [5]. На рис. 3 представлены зависимости пористости от давления, найденного по формуле (5), а также экспериментальные кривые для железного порошка марки ПЖ4М и медного порошка марки ПМС-1. Для порошков железа $\mu = 0,145$, меди $\mu = 0,07$ [6]. Кроме того, для медного порошка $\sigma_T = 59,4$ МПа, $A = 55,5$ МПа, $n = 0,41$ [5]. Пористость насыпки для обоих материалов принята $\theta_0 = 0,7$. Геометрические параметры спрессованных брикетов постоянные при различных значениях θ_1 : $l = 6$ мм, $R_0 = 12$ мм.

Среднеарифметическое значение относительной погрешности расчетных значений давления одностороннего прессования по сравнению с экспериментально установленными (рис. 3) составляет: для порошка железа в интервале пористостей $0,4 \geq \theta_1 \geq 0,05$ — 12,2 %, для порошка меди при $0,45 \geq \theta_1 \geq 0,035$ — 10,9 %.

Достаточно хорошее совпадение результатов расчета давления одностороннего прессования с экспериментальными данными, а также с рассчитанными по формулам, полученным на основе различных исходных представлений порошковой среды, свидетельствует о соответствии используемой в настоящем исследовании модели пластического течения порошковой среды характеру и условиям деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. — М., 1969. — 264 с.
2. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. — М., 1980. — 456 с.
3. Теоретическое исследование процесса холодного выдавливания прутков из непластифицированных металлических порошков: Распределение пористости и напряжений в коническом очаге пластической деформации / А.В.Степаненко, Л.А.Исаевич, А.А.Веремейчик, Т.А.Медведева // Порошковая металлургия. — 1987. — № 5. — С. 6—10.
4. Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Веремейчик А.А. Теоретическое исследование процесса холодного выдавливания прутков из непластифицированных металлических порошков: Деформационное упрочнение материала порошка // Порошковая металлургия. — 1987. — № 6. — С. 12—15.
5. Третьяков А.В., Трофимов Г.К., Гурьянов М.К. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании. — М., 1971. — 63 с.
6. Жданович Г.М. Некоторые вопросы теории процесса прессования металлических порошков и их смесей. — Мн., 1960. — 98 с.

УДК 621.771.014

М.С.БЕЗВЕРХИЙ, Н.Г.СЫЧЕВ

СРЕДНЕЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СДВИГОМ

В настоящее время наиболее распространенным методом расчета средних давлений в процессах обработки металлов давлением является метод, основанный на решении дифференциальных уравнений равновесия совместно с уравнением пластичности. Однако точные замкнутые решения этой системы уравнений затруднительны.