

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ ПРУТКОВ ИЗ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

А. П. Поляков, П.А. Поляков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук

620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34

Процесс выдавливания, является одним из основных технологических процессов порошковой металлургии. Рассмотрена методика расчета параметров процесса выдавливания прутков из порошковых композиций на основе железа с малыми легирующими добавками, позволяющая прогнозировать плотность прутков в зависимости от начальной пористости заготовки, вытяжки, угла конусности матрицы, определять давление выдавливания. При разработке технологических параметров процесса прессования порошковых заготовок важно обеспечить возможность их последующей термомеханической обработки в неспеченном состоянии, что позволяет существенно снизить затраты при производстве. В частности, выдавливание в холодном состоянии расширяет возможности порошковой металлургии.

При разработке технологических параметров процесса выдавливания заготовок из некомпактного сырья решается ряд задач, в числе которых определение давления выдавливания и величина остаточной пористости в зависимости от коэффициента вытяжки, угла конусности матрицы, начальной пористости заготовки. При этом следует учитывать, что чем меньше давление прессования брикета перед выдавливанием (и соответственно его плотность), тем меньше нагрузка на штамповый инструмент и энергозатраты. С другой стороны плотность брикета должна быть такой, чтобы пруток после выдавливания не разрушился. Поэтому также желательно определять минимальную плотность заготовки, позволяющую получить после выдавливания пруток, пригодный для последующей механообработки.

Расчет давления выдавливания и остаточной пористости осуществляется с использованием зависимостей (1)-(3).

Стадия компактирования:

$$p_1^+ / \sqrt{3}\tau_s = (2/3) \left[1 - k \cdot \theta^{2/3} - \ln(\theta/\eta) \right] + p_{fr} \quad (1)$$

где p_1^+ - верхняя оценка давления прессования, τ_s - предел текучести материала основы (твердой фазы) при сдвиге, k, η - коэффициенты в выражениях, связывающих пределы текучести на сжатие и сдвиг с пористостью, p_{fr} - потери давления на преодоление внешнего трения, θ - пористость.

Стадия выдавливания:

$$p_2^+ / \sqrt{3}\tau_s = 8/(9tg^2\alpha) \cdot (1 - k \cdot \theta^{2/3}) \left[(1 + 0,75 \cdot tg^2\alpha)^3 - 1 \right] \ln \mu + (4/3\sqrt{3}) \cdot (1 - k \cdot \theta^{2/3}) tg\alpha' + (f/\sqrt{3}) \cdot \ln \mu (ctg\alpha' + tg\alpha') + p_{fr} \quad (2)$$

где $p_{fr} = (2/3) \left[1 - k \cdot \theta^{2/3} - \ln(\theta/\eta) \right] \cdot (\xi L_1 / R_0)$ - потери давления на преодоление внешнего трения по Г.М. Ждановичу [1], $k \geq 1$ и $\eta = [0,48 \div 1,0]$ в соответствии с работой [2], $\alpha = \arctg[(R_0 - R_1)tg\alpha / ((R_0 - R_1) + (L_1 + L_2)tg\alpha)]$.

В соответствии с принятым подходом из значений $p_1^+ / \sqrt{3}\tau_s$ и $p_2^+ / \sqrt{3}\tau_s$ выбирается наименьшее:

$$p^+ / \sqrt{3}\tau_s = \min(p_i^+ / \sqrt{3}\tau_s), \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

Для того чтобы определить давление выдавливания реального материала необходимо знать величину предела текучести τ_s твердой фазы, которая имеет различные значения для стадии компактирования и стадии выдавливания. Поэтому необходимо получить кривые уплотнения при компактировании и зависимости "давление – относительная плотность" в зависимости от коэффициента вытяжки на стадии выдавливания. Для этого выполняются экспериментальные исследования процессов компактирования и выдавливания для материала основы порошкового композита. Также на данной стадии исследований определяется минимальная плотность заготовки, позволяющая получить после выдавливания пруток, пригодный для последующей термомеханической обработки.

Результаты испытаний на осевое и радиальное сжатие использовали для определения параметров в критерии прочности Мора-Кулона [3]:

$$\tau = p_\sigma \cdot tg\beta + d, \quad (4)$$

где $p_\sigma = -\sigma$ и величины p_σ - гидростатическое давление и τ - интенсивность касательных напряжений определяются по формулам [3]:

$$p_\sigma = \sigma_{сж} / 3, \quad \tau = \sigma_{сж} \quad \text{при осевом сжатии}; \quad p_\sigma = 2\sigma_{рад} / 3, \quad \tau = \sqrt{13} \cdot \sigma_{рад} \quad \text{при радиальном сжатии}.$$

$$\text{Значения параметров } tg\beta, d \text{ определяются по формулам [4]: } d = \frac{\sigma_{сж} \cdot \sigma_{рад} \cdot (\sqrt{13} - 2)}{\sigma_{сж} - 2\sigma_{рад}} \quad tg\beta = \frac{3\sigma_{сж} - d}{\sigma_{сж}} \quad (5)$$

где β - угол внутреннего трения (угол наклона образующей предельной поверхности в плоскости $\sigma - \tau$ к гидростатической оси), d - сопротивление срезу (сцепление, когезия)

На первом этапе осуществляется математическое моделирование и экспериментальные исследования процессов компактирования и выдавливания материала основы порошкового композита (без легирующих добавок).

Схема выбора технологических параметров



Полученные данные предполагается использовать для технологических расчетов процессов производства деталей машиностроительного назначения из порошков. Разработаны методические рекомендации по выбору рациональных технологических параметров процесса выдавливания прутков из порошковых композиций и разработан программный комплекс, позволяющий прогнозировать плотность прутков в зависимости от начальной пористости брикета, коэффициента вытяжки, угла конусности матрицы, определять давление выдавливания.

Литература

1. Жданович, Г. М. Теория прессования металлических порошков / Г. М. Жданович. – М. : Металлургия, 1969. – 264 с.
2. Залазинский, А. Г. Пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов / А. Г. Залазинский. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 490 с.
3. Brewin, P. R. Modeling of powder die compaction / P.R. Brewin [et al.]. – Springer, 2008. – 329 p.
4. Shang, C. Constitutive Model Calibration for Powder Compaction Using Instrumented Die Testing / C. Shang, I. C. Sinka, J. Pan // Experimental Mechanics. – 2012. – Vol. 52. – P. 903-916.