

УДК 621.762.016

**В.Н. Анциферов**

**W.N. Antsiferov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

**В.Е. Перельман**

**W.E. Perelman**

ООО «МИП „РИТЦ ПМ“»  
Small Innovative Enterprise "Engineering and technical  
realization of powder metallurgy", LLC

## **ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕНТРИФУГЕ**

### **CENTRIFUGAL POWDER MOLDING**

Описан процесс уплотнения порошковых материалов в центрифуге. Получены зависимости для линейного распределения давлений прессования по высоте прессовок в зависимости от параметров формования.

**Ключевые слова:** порошковые материалы, силы инерции, центрифуга, процесс ускорения, давление прессования, плотность прессовки.

A centrifugal powder molding process is described. The ratios for linear molding pressure distribution to the heights of compacts were obtained depending on molding parameters.

**Keywords:** powder materials, inertial forces, centrifuge, acceleration process, molding pressure, compact density.

Уплотнение порошковых материалов в центрифуге есть процесс прессования сухого порошка за счет сил инерции, возникающих в материале под действием сил, вызванных центробежным ускорением частиц порошка. Для описания этого процесса можно воспользоваться принципом независимости действия сил, приложенных к телу, и принципом Д'Аламбера. Согласно первому из них действие каждой силы, приложенной к телу, не зависит от действия других сил. В соответствии же с принципом Д'Аламбера тело, находящееся под действием сил инерции, можно рассматривать как тело, находящееся в состоянии мгновенного равновесия под действием внешних сил, равных по величине и направлению силам инерции.

Принцип независимости действия сил позволяет рассмотреть уплотнение порошкового материала под действием сил инерции без учета влияния на этот процесс формы оснастки и условий трения по поверхностям формообразующего инструмента. Если на это решение наложить решение задачи распределения напряжений и плотностей в порошковом материале, формуемом в матрице, что позволяет учесть и геометрию прессовки, и параметры трения материала по инструменту, то совмещение этих решений позволит получить достаточно полноценное описание процесса прессования порошков в центрифуге [1].

Величину центробежных сил в центрифугах можно определить как

$$F = ma, \quad (1)$$

где  $m$  – масса;  $a$  – ускорение.

Из двух ускорений, действующих в теле при его вращении ( $a_t$  – окружное (касательное) ускорение и  $a_r$  – радиальное ускорение), влияние на процесс прессования оказывает, в основном, ускорение  $a_r$ , так как при равномерном вращении  $a_t$  в кольцевом канале равно нулю. Можно попробовать оценить влияние этого ускорения на процесс формования в схемах прессования, в которых порошок засыпается в «контейнеры» сложной формы, одна из поверхностей которых является «толкающей». Такая задача на этапе первичного рассмотрения различных аспектов технологии прессования нанодисперсных порошков в центрифугах в этой работе не ставилась.

Центробежное ускорение, как известно,

$$a_r = \omega^2 r,$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения центрифуги;  $r$  – радиус, на котором находится порошок в рассматриваемом слое прессовки.

Если высота прессовки достаточно мала по сравнению с радиусом центрифуги, то влиянием разности величины  $a_r$  по высоте прессовки можно пренебречь. Уточнение решения задачи, учитывающее влияние этого фактора, может быть проведено, если считать такое уточнение целесообразным.

Собственную массу уплотняемого слоя материала при определении величины сжимающей силы можно задать следующим образом:

$$m_1 = \rho\theta V,$$

где  $\rho$  – плотность компактного материала;  $\theta$  – относительная плотность отформованного в центрифуге материала;  $V$  – рассматриваемый объем материала.

Последний параметр зададим как величину, приходящуюся на единицу площади сечения, ортогонального к радиусу центрифуги. Это позволит принять рассчитанную по формуле (1) силу инерции как давление прессования, вызванное силами инерции.

Кроме этого параметра на величину сил инерции влияет и масса материала  $m_2$ , находящаяся над рассматриваемым слоем (зоной) прессуемого порошка. Если принять конечную высоту прессовки  $H$ , а координату рассматриваемого слоя (зоны) вдоль радиуса центрифуги  $Z$  (отсчет ведется от ближнего к центру центрифуги торца прессовки), то такую дополнительную величину массы в уравнении (1) можно определить из следующего соотношения:

$$m_2 = \rho \theta S Z, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь прессовки в сечении, ортогональном радиусу центрифуги.

Таким образом, максимального значения масса материала  $m_2$  достигает у наиболее удаленного от центра центрифуги торца прессовки, где будет равна массе всей насыпки. Закон приращения массы по  $Z$ , как видно из соотношения (2), линейный.

Если переходить к величинам не сил, а давлений, то

$$m'_2 = \rho \theta Z,$$

где  $m'_2$  – параметр, относящийся к единице площади.

Тогда в уравнении (1) силу  $F$  можно заменить на параметр  $P$  – давление прессования, массу  $m$  – на  $m'_1 + m'_2$ , где  $m'_1$  и  $m'_2$  – величины массы, относящиеся к единице площади сечения, а  $a$  заменить на  $a_r = \omega'^2 \cdot R$ , где  $R$  – радиус центрифуги, или радиус окружности, описываемый наиболее удаленным от оси центрифуги торцом прессовки. В итоге получим

$$P = (m'_1 + m'_2) \omega'^2 R. \quad (3)$$

Эта формула дает линейное распределение давлений прессования вдоль высоты прессовки, так как выражение (3) может быть записано в форме  $y = kx + b$ , где  $b = m'_1 \omega'^2 R$ ,  $kx = \rho \theta S Z \omega'^2 R$ .

Распределение плотности под воздействием инерционных сил в прессовке можно пересчитать по давлениям прессования по одной из известных формул, связывающих давления прессования и плотность прессовки. В частности, можно использовать формулы М.Ю. Бальшина [2]. Конечно, необходимо иметь в наличии необходимые для расчета по этим формулам константы. Можно ограничиться снятием экспериментальных кривых  $\theta = f(\rho)$  для используемых в технологии материалов.

## **Список литературы**

1. Анциферов В.Н., Перельман В.Е. Механика процессов прессования порошковых и композиционных материалов. – М., 2001. – 628 с.
2. Бальшин М.Ю. Порошковое металловедение. – М.: Metallurgizdat, 1948. – 332 с.

Получено 27.04.2012