

## О ПРИНЦИПАХ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

К.т.н. Реут О.П.  
(МИПК при БГПА)

Необходимость расширения научных исследований по развитию теории прессования порошков диктуется особым местом процессов прессования в технологической цепи производства порошковых изделий, так как этап прессования в значительной степени определяет себестоимость и качество готовой продукции.

Установление зависимости плотности прессовки от приложенного давления прессования (энергии прессования в случае импульсного нагружения) является важной теоретической и практической задачей, поскольку указанная зависимость определяет собственно технологический процесс прессования изделия, следовательно, способ прессования, параметры соответствующего оборудования и др. В настоящее время предложено значительное количество математических выражений, связывающих давление и плотность прессовки, которые с различной степенью точности удовлетворительно описывают процессы прессования порошковых материалов.

В зависимости от выбора расчетной модели для порошкового материала, два основных теоретических исследования.

Первое направление базируется на изучении контактного взаимодействия между частицами порошка на основе принципов статистической механики. Основоположником дискретной теории является М.Ю. Бальшин. Дальнейшему развитию дискретной теории посвящены работы Шофмана Л.А., Федорченко И.М., Андриевского Р.А., Ждановича Г.М. и многих других авторов.

В процессе уплотнения частицы порошка претерпевают изменения, связанные с их упругой, пластической и структурной деформациями, и отличие деформации порошковых тел от деформации компактных металлов состоит в структурной составляющей. Повышение давления влечет повышение прочности межчастичных связей и возрастание деформации частиц. Многообразные физико-механические явления, сопровождающих процессы уплотнения, определяется постоянным изменением упруго-пластического взаимодействия частиц, их относительного перемещения и тепловыми процессами. Поэтому в математических выражениях содержится большое число эмпирических констант, что вызывает необходимость проведения комплекса исследований для нахождения требуемых постоянных, всегда зависящих от конкретных условий прессования. Это обстоятельство в значительной степени ограничивает применение выражений из дискретных теорий в инженерных расчетах, хотя подход к изучению порошкового материала с позиций рассмотрения контактного взаимодействия частиц является физически обоснованным и математически точным и позволяет учитывать ряд существенных характеристик порошкового материала, таких, как размер и форма частиц порошка, их механические свойства, межчастичное трение, упрочнение, плотность и др.

Установление однозначной связи между плотностью и давлением прессования привело к отказу от поиска эффективных схем прессования, что стало ограничивать технологические возможности порошковой металлургии. Вместе с тем, схема прессования оказывает существенное влияние на плотность прессовки. Создание новых способов прессования (в толстостенных эластичных оболочках, установлении в жесткую матрицу, прессование в незамкнутом объеме и др.) содействовало переходу от изучения контактных взаимодействий к континуальному представлению о процессах уплотнения, чем и определено второе направление в теории

прессования, отраженное в работах Грина Р.Дж., Скорохода В. В., Штерна М.Б., Петросяна Г.П. и других ученых.

Принятие гипотезы сплошности применительно к порошковым материалам позволило рассматривать деформацию всей прессовки при приложении давления за счет сближения частиц порошка с изменением ее объема. Как известно, остаточные деформации тела после снятия нагрузки определяются не только механическими характеристиками материала, но и схемой его напряженно-деформированного состояния. Поэтому определение оптимальных схем прессования для различных конкретных изделий имеет большое практическое значение.

Развитие континуальных представлений о процессах уплотнения порошковых материалов вызвало появление множества критериев пластичности, достаточно полный обзор, которых содержится в работы Лаптева А.М. Для порошковых материалов, в отличие от компактных, при наложении гидростатического давления характерна необратимая объемная деформация, поэтому поверхность текучести для них всегда является замкнутой. Сложность современных условий пластичности уплотняемых порошковых сред ограничивает их широкое распространение в инженерной практике. В этой связи интересной представляется модель пластичности, имеющая поверхность текучести в виде сдвинутого вдоль гидростатической оси эллипсоида вращения, получившая экспериментальное подтверждение в работах Мидукова В.З. и определяемая уравнением:

$$\frac{3(p-p_*)^2}{\varphi^2} + \frac{2 \cdot T^2}{\phi^2} = 1, \quad (1)$$

где  $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$  - гидростатическое давление;

$T$  - интенсивность касательных напряжений;

$p_*$  - параметр смещения центра эллипсоида вдоль гидростатической оси;

$\varphi$  и  $\phi$  - функции механических и структурных характеристик порошковых материалов.

Отмеченные направления развития теории прессования порошков не противостоят друг другу. Они характеризуют различные стороны одного и того же процесса. Совместное их рассмотрение позволяет получить наиболее полную и максимально приближенную к действительности картину поведения порошковых материалов при их уплотнении. Расширение диапазона применимости условий пластичности уплотняемых порошковых сред в область растягивающих нагрузок способствует использованию условия пластичности для прочностных расчетов порошковых изделий при их эксплуатации.

Автором получены уравнения поверхностей нагружения по модели (1) в явном виде, которые относительно просты в математическом выражении и легко поддаются расчетам с помощью ЭЭВМ.