

*Абдрасилова Ж.Х., Токтогулов Т.С.*

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ПРЕССОВКИ

*Zh.H. Abdrasilova, T.S. Toktogulov*

### EFFECT OF PRESSURE ON DENSITY PRESS PRESSING

УДК: 621.762.404: 628.517.2 (043)

*Исследовали влияние давления прессования металлического порошка на эффект диссипации звука и вибрации.*

*Investigated influence of pressure of pressing of a metal powder on effect dissipation a sound and vibration.*

Порошки отличаются от компактных твердых тел значительной подвижностью частиц, способностью сохранять приданную им форму только при определенных условиях, свойством оказывать давление на ограждающую поверхность, незначительной способностью сопротивляться растягивающим усилиям и пр. Эти свойства не учитывались специалистами при создании демпфирующих материалов.

Уже при насыпании порошка в форму поверхностные слои частиц (как правило, обогащенные примесями или обладающие искаженной кристаллической решеткой, в результате чего физические свойства приповерхностного слоя частицы могут значительно отличаться от свойств основного материала) воспринимают контактную нагрузку. Поверхность порошинок характеризуется шероховатостью (часто значительной) и наличием микроскопических или субмикроскопических трещин. В результате контакт между соприкасающимися частицами при отсутствии внешнего давления возможен только в отдельных точках. В связи с этим действительные контактные давления в силу малости начальных поверхностей соприкосновения (0,001-0,01 % от общей поверхности контактирующих частиц) достигают таких значений, при которых возникают пластические деформации или местные разрушения, т.е. напряженное состояние материала частицы в окрестностях зоны контакта должно быть близким к предельному. По подсчетам при среднем напряжении в массе песка 0,1 МПа наибольшее контактное давление составляет 2000 МПа. При таких давлениях первоначальный точечный контакт переходит в контакт по некоторой поверхности, хотя и малой.

Контактная поверхность может быть исследована визуально (например, после разрушения прессовки по отпечаткам на частицах, особенно имеющих сферическую форму) или же путем измерения электросопротивления порошкового тела по формуле:

$$\sqrt{S_K} = (\lambda_K / \lambda) \sqrt{S_H}, \quad (1)$$

где  $S_H$  – номинальное сечение порошкового тела,  $S_K$  – контактная поверхность в номинальном сечении порошкового тела;  $\lambda$  – удельная электропроводность (табличная или измеренная для компактного беспористого материала);  $\lambda_K$  – контактная (реальная) удельная электропроводность пористого порошкового тела.

Отношение контактного сечения  $S_K$  к номинальному сечению  $S_H$  порошкового тела называют относительным контактным сечением  $a_K$  ( $a_K = S_K / S_H$ ).

Сущность процесса прессования заключается в деформировании некоторого объема сыпучего порошкового тела обжатием, при котором происходит уменьшение первоначального объема и формирование заготовки (прессовки) заданных формы, размеров и свойств. Объем порошкового тела при прессовании изменяется в результате смещения отдельных частиц, заполняющих пустоты между ними, и деформации частиц. Имеется возможность раздавать такие материалы, у которых плотность изменяется, что позволяет создавать скорость звука.

Специалисты по порошковым материалам совершенно проигнорировали проблему диссипации звуковой и вибрационной энергии порошковым материалом. А структуру демпфирующего порошкового металлического материала можно спроектировать при формовании.

Зеелиг предложил использовать круглые резиновые шайбы для имитации процессов, происходящих в пресс-форме при прессовании порошка. При свободной засыпке в замкнутом объеме полости матрицы между шайбами сохраняются значительные пустоты, обусловленные арочным эффектом. Под действием прикладываемых внешних сил пустоты заполняются и достигается наиболее плотная укладка шайб. В случае пластичных металлов дальнейшее уплотнение будет происходить в основном вследствие деформации частиц, причем вначале она ограничена приконтактными участками, а затем распространяется в глубь частиц. При прессовании хрупких материалов деформация проявляется в разрушении и дроблении выступов на поверхностях частиц.

Если построить график, на котором по оси ординат отложить относительную плотность порошка или прессовки, а по оси абсцисс – давление прессования, то зависимость между этими величинами в общей форме можно было бы

выразить идеализированной кривой уплотнения с тремя характерными участками. Из такого графика видно, что наиболее интенсивное уплотнение порошкового тела должно происходить на первой стадии процесса, связанной перемещением частиц и их более плотной упаковкой под действием внешних сил. Однако это перемещение происходит неравномерно. Частицы, находящиеся в особо благоприятных условиях, перемещаются в близлежащие пустоты в известной мере свободно, без существенного трения о поверхности соседних частиц, с которыми они слабо соприкасаются. Перемещение других частиц, находящихся в менее благоприятных условиях, может тормозиться значительным трением их о поверхности соседних частиц, с которыми они находятся в плотном контакте, и о поверхность стенок пресс-формы. По окончании первой (I) стадии процесса получается упаковка, близкая к максимальной плотной. Уплотнение на первой стадии происходит в результате свободного перемещения частиц и связано с разрушением арок. В связи с этим о первой стадии уплотнения часто говорят как о структурной деформации порошкового тела. Эта стадия характеризуется также значительной ролью упругой разгрузки некоторых из контактов, происходящей уже в самом начале уплотнения порошковой массы. В результате такой местной разгрузки части контактов уменьшаются силы связи между ними, а также сокращаются площади соответствующих контактов между частицами и, следовательно, возрастают напряжения в них. В результате облегчается взаимное смещение частиц и реализуется пластическое деформирование в области остаточных контактов, что способствует ускорению нарастания плотности порошкового тела при прессовании.

Вторая (II) стадия процесса уплотнения при прессовании характеризуется тем, что частицы порошка, упакованные максимально плотно, оказывают определенное сопротивление сжатию, давление прессования возрастает, а плотность порошкового тела некоторое время не увеличивается. В силу упругой деформации частиц роль местной разгрузки контактов незначительна, а пластическая деформация в приконтактной зоне носит ограниченный локальный характер.

Наконец, когда давление прессования превысит сопротивление сжатию частиц порошка, начинается их пластическая деформация, и процесс уплотнения вступает в третью (III) стадию. С этого момента пластическая деформация охватывает весь объем каждой частицы, смещение межчастичных контактов фактически прекращается и они фиксируются.

На практике в процессе прессования происходит взаимное наложение указанных стадий уплотнения порошкового тела, так как они протекают одновременно. В связи с этим реальная

кривая уплотнения, характеризующая процесс прессования большинства металлических порошков, монотонна и в средней части не имеет явно выраженного горизонтального участка. Деформация отдельных частиц начинается уже при малых давлениях прессования, в то время как скольжение некоторых частиц наблюдается и при высоких давлениях прессования. Поэтому преимущественное значение для уплотнения порошка имеют перемещение частиц на первой стадии и их пластическая деформация на последней стадии, причем чем пластичнее металл, тем при более низких давлениях начинается уплотнение, связанное с деформацией частиц. Для металлов с высоким пределом текучести начальная и конечная стадии уплотнения резко разграничены.

Таким образом, энергия прессования расходуется на преодоление трения между частицами (его называют межчастичным) и внешнего (между частицами и стенкой матрицы пресс-формы или торцами пуансонов), и на деформирование частиц.

Если подвергнуть прессованию засыпанные в цилиндрическую пресс-форму одинаковые по массе и высоте слои порошка, разделенные прокладками из тонкой фольги, то после уплотнения эти слои будут различаться по толщине и форме. По вертикали в направлении от места приложения давления каждый верхний слой будет тоньше (т.е. плотнее) нижележащего. Частицы у стенки внутренней полости матрицы пресс-формы продвинулись на меньшее расстояние, чем в центральной части брикета. В горизонтальном направлении в верхнем слое под прессующим пуансоном плотность нарастает от центра к периферии, а в нижнем слое наоборот – от периферии к центру. Неоднородное распределение плотности по объему прессовки обусловлено затратой части усилия прессования на преодоление внешнего трения частиц порошка о контактирующие с ними поверхности элементов пресс-формы (стенки внутренней полости матрицы и торцевые поверхности пуансонов).

Межчастичное трение, влияя на достигаемую при уплотнении плотность, не вызывает появления градиента плотностей по высоте и сечению прессовки, т.е. не приводит к ее неравноплотности. Эти явления являются большим потенциалом по варьированию демпфирующих свойств порошковых материалов.

Одна из причин наличия в средней части прессовки зоны большого уплотнения на некотором расстоянии по вертикали от ее верхней кромки связана с формой и направлением распространения очага деформации порошка в процессе прессования. Другая причина этого – выдавливанием порошка из углов полости матрицы, замкнутой прессующим пуансоном, в направлении результи-

рующей силы внешнего трения частиц о стенку матрицы и торцевую поверхность пуансона.

При двустороннем прессовании более плотным оказываются верхняя и нижняя части прессовки, тогда как в ее середине наблюдается зона наименьшей плотности, называемая нейтральной.

Неравномерная плотность прессовки может привести к искажению ее формы и размеров при спекании, а также вызвать нежелательные изменения свойств спеченного порошкового тела. В то же время неравномерная плотность гарантирует повышенное затухание шума и вибрации.

При выводе основного уравнения прессования, связывающего давление прессования и плотность прессовки, возможны два основных подхода. Первый из них характеризуется рядом упрощающих допущений, которые позволяют решать ту или иную задачу элементарным путем, с использованием достаточно простых уравнений прессования, описывающих рассматриваемый процесс с удовлетворительной точностью. К этому направлению относятся теории прессования, основанные на гипотезе сплошности, которая предполагает отсутствие разрывов в уплотняемой среде, т.е. ее непрерывность, что в целом противоречит представлениям о дискретном строении порошковых тел.

Второй подход базируется на большей физической обоснованности решения поставленной задачи. Для описания процесса уплотнения порошкового тела в данном случае требуются весьма сложные математические зависимости, решение которых далеко не всегда приводит к результатам, имеющим практическое значение. К этому направлению относят теории, основанные на изучении контактных явлений при взаимодействии частиц.

Четко разграничить эти направления нельзя, так как они зачастую взаимно дополняют друг друга.

Большая заслуга в разработке теоретических положений, связанных с уплотнением порошковых тел при прессовании, принадлежит М.Ю. Бальшину. Он показал, что количественная зависимость плотности прессовки от давления прессования может быть выражена уравнениями [1]:

$$\begin{aligned} \lg \rho &= -L(\beta - 1) + \lg \rho_{\max} \\ \text{и} \quad \lg \rho &= -m \lg \beta + \lg \rho_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

или  $\lg \rho = m \lg \beta + \lg \rho_{\max}$ , где  $\rho$  – приложенное (текущее) давление прессования,  $\rho_{\max}$  – давление прессования, обеспечивающее получение беспористой прессовки;  $L$  и  $m$  – постоянные, учитывающие природу прессуемого материала и называемые, соответственно фактором и показателем прессования;  $\beta$  и  $\nu$  – соответственно относительный объем и относительная плотность прессовки.

Фактор прессования  $L$  связан с контактным давлением  $\sigma_k$  зависимостью

$$L = 0,434 K' h_k / \sigma_k h_0, \quad (3)$$

где  $K'$  – постоянный коэффициент;  $h_k$  – приведенная высота прессовки, т.е. высота прессовки при ее плотности 100%;  $h_0$  – первоначальная высота порошка в пресс-форме.

Следовательно, фактор прессования  $L$  может быть постоянным только при  $\sigma_k = \text{const}$ , так как  $h_k$  и  $h_0$  для взятой навески порошка – величины постоянные. На самом деле  $\sigma_k \neq \text{const}$  и растет как вследствие упрочнения материала частиц в процессе прессования, так и вследствие изменения схемы напряженного состояния материала (замена одноосного сжатия более сложным) в окрестностях зоны межчастичного контакта. Предложив, приведенные выше уравнения прессования, М.Ю. Бальшин отметил, что фактор прессования  $L$  значительно изменяется даже в сравнительно небольших интервалах давлений, в связи с чем попытки включения в уравнение прессования постоянных коэффициентов для любого из металлических порошков во всем интервале давлений обречены на неудачу. Однако в ряде случаев можно получить уравнения с коэффициентами более или менее постоянными в достаточно широком интервале давлений прессования. Изменяя давление прессования в работе получили порошковые материалы с высокими демпфирующими свойствами.

Заключение: исследовали влияние давления прессования металлического порошка на эффект диссипации звука и вибрации.

#### Литература:

1. Бальшин М.Ю., Кипарисов С.С. Основы порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1978. – 184 с.

Рецензент: д.т.н. Осмонов К.А.