

Исследование течения материала при экструзии порошковых изделий

О.В.МИХАЙЛОВ, Г.Г.СЕРДЮК, д-р техн. наук; Т.А.ЕПИФАНЦЕВА

Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины (Киев, Украина)

Е.В.ШТЕФАН

Национальный университет пищевых технологий (Киев, Украина)

Процесс экструзии порошковых материалов широко применяется при изготовлении изделий различного назначения. Среди материалов, подвергаемых экструзии, могут быть порошки, гранулы, а также предварительно спечённые порошковые заготовки. Свойства указанных материалов могут существенно различаться. В связи с этим авторами были проведены исследования поведения при выдавливании двух типов порошковых материалов, отличающихся между собой как степенью связности между частицами, так и собственно материалом частиц.

Первый тип рассматриваемых материалов – спечённые порошковые заготовки из порошков пластичных металлов (Fe, Cu). Указанные материалы характеризуются высокой прочностью сцепления частиц порошка и могут деформироваться без разрушения при наличии свободной поверхности. Внешний вид изделий, полученных выдавливанием предварительно спечённых порошковых заготовок, приведён на рис. 1.

В качестве примера экструзии материалов второго типа был рассмотрен процесс формования фарфоровой массы, реализуемый в виде процесса мунштучного прессования с использованием вакуум-прессов различной мощности (рис. 2). Обработываемый материал представляет собой керамическую массу, содержащую вязкие добавки.

Закономерности течения пористых порошковых материалов исследовали как методом

компьютерного моделирования, так и экспериментально.

При моделировании процесса экструзии спечённых порошковых заготовок использовали соотношения теории пластичности пористого тела, учитывающей разнсопротивляемость растяжению и сжатию [1]. При рассмотрении поведения фарфоровой смеси использовали соотношения упруговязкопластической модели, учитывающей пористость и эффективную вязкость керамиче-

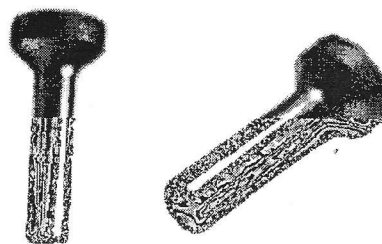


Рис. 1. Изделия, полученные выдавливанием через коническую матрицу

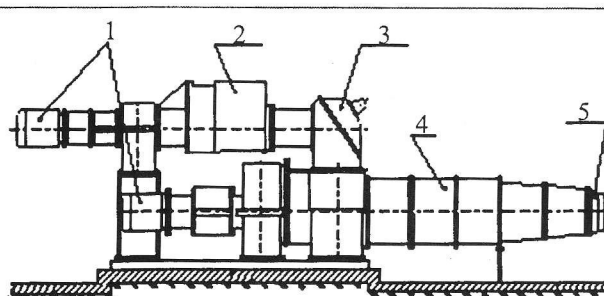


Рис. 2. Внешний вид вакуум-пресса PVP-50/S: 1 – электродвигатель; 2 – лоток; 3 – вакуумная камера; 4 – формующая система; 5 – мунштук

ской массы [2]. Моделирование процесса деформирования было реализовано посредством разработанного вычислительного алгоритма [3, 4], основанного на поэтапном (пошаговом) рассмотрении движения тела в неподвижной системе отсчёта. Для решения сформулированной краевой задачи были использованы проекционно-сеточные методы в форме метода конечных элементов (МКЭ) по пространственным переменным и конечных разностей (МКР) по временному аргументу. На каждом шаге нагружения проверяли искажение сетки конечных элементов и, при необходимости, осуществляли её перестройку. При этом все параметры, характеризующие поведение тела в процессе деформирования, рассчитывались по отношению к начальной для каждого шага нагружения конечно-элементной модели тела. Результатами моделирования являлось распределение таких параметров, как величина пористости, накопленной пластической деформации материала твёрдой фазы пористого тела, а также напряжений. Кроме того, исследовали развитие зоны вязкопластических деформаций в формующем канале вакуум-пресса.

Экспериментальные исследования проводили на специальной установке, смонтированной на гидравлическом прессе и позволяющей записывать зависимости «перемещение – усилие». Кроме того, был проведён микроструктурный анализ полученных изделий. Образцы разрезали по осевым сечениям и исследовали микроструктуру в наиболее характерных точках.

Рассматривали различные схемы течения материала: прямое, обратное, боковое и комбинированное. Основной особенностью всех указанных технологических схем является то, что часть поверхности деформируемой заготовки не подвержена во время выдавливания внешнему воздействию. Оказалось, что параметры, характеризующие напряжённо-деформированное состояние изделия, распределе-

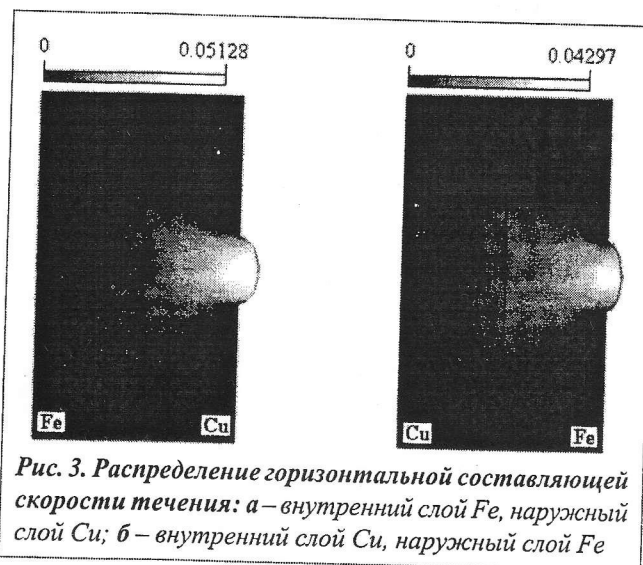


Рис. 3. Распределение горизонтальной составляющей скорости течения: а – внутренний слой Fe, наружный слой Cu; б – внутренний слой Cu, наружный слой Fe

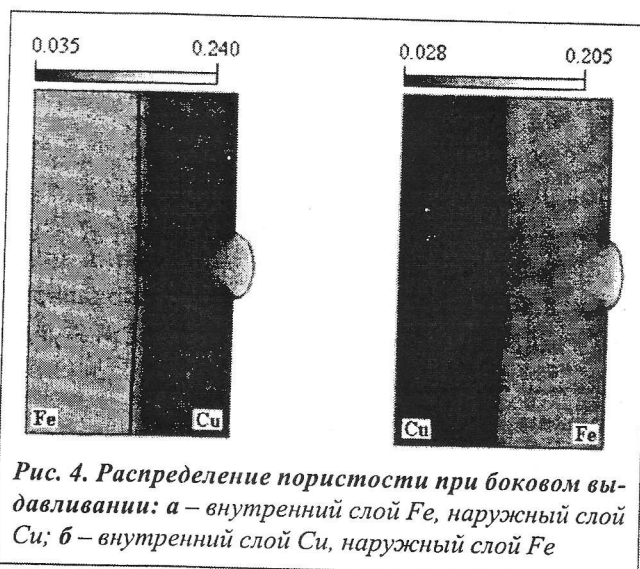


Рис. 4. Распределение пористости при боковом выдавливании: а – внутренний слой Fe, наружный слой Cu; б – внутренний слой Cu, наружный слой Fe

ны по объёму существенно неравномерно. Так, материал стремится течь в области, свободные от силового воздействия, и в которых отсутствует ограничение движению со стороны формующего инструмента. В этих зонах, характеризующихся наличием выпуклой свободной поверхности, компоненты напряжений могут принимать растягивающие значения, а величина пористости максимальна. Здесь обычно наблюдается разрушение изделий.

Результаты моделирования процесса бокового выдавливания биметаллической заготовки приведены на рис. 3, 4. Можно отметить, что если

слой из более прочного материала (Fe) расположен внутри, то происходит его вдавливание в менее прочный слой (Cu), что приводит к увеличению скорости горизонтального течения и соответственно к увеличению размера выдавленной части изделия. Кроме того, слой из менее прочного материала уплотняется более интенсивно.

При комбинированном выдавливании направление перемещения материала существенно зависит от соотношения размеров областей течения, а также от величины и характера приложения сил трения. Неравномерно распределена также величина накопленной пластической деформации материала твёрдой фазы пористого тела, что подтверждают результаты микроструктурного анализа. Такое распределение накопленной деформации сказывается на конечных свойствах получаемых деталей.

В результате моделирования поведения фарфоровой массы в процессе её упруговязкопластического деформирования в вакуум-прессе [4] была установлена область развития зоны растягивающих напряжений, которая локализуется в месте перехода конической части мундштука в цилиндрическую. Для минимизации этих напряжений предлагается:

■ выбирать угол конусности мундштука в диапазоне 40–50°;

■ увеличивать цилиндрическую часть мундштука таким образом, чтобы она была не меньше диаметра выходного отверстия мундштука;

■ выполнять переход от конической к цилиндрической части мундштука с определённым радиусом кривизны.

Кроме того, наложение противодействия 9–12% от рабочего давления при деформировании керамических масс существенно изменяет напряжённо-деформированное состояние заготовки, что повышает уровень сжимающих напряжений в очаге деформации. Это способствует «залечиванию» разрывов сплошности (пор, микропустот) и тем самым оказывает положительное влияние на качество получаемых изделий.

Как показали полученные результаты, процессы экструзии таких разных порошковых материалов, как спечённые металлические заготовки, с одной стороны, и фарфоровой (керамической) массы – с другой, имеют как общие свойства, так и отличия. Фарфоровая масса характеризуется слабой степенью связности между частицами, поэтому возникает необходимость прикладывать противодействие и применять другие меры по предотвращению разрушения изделий. Спечённые заготовки можно деформировать без разрушения при наличии свободной от напряжений поверхности и получать в результате изделия требуемого качества. Однако и в этом случае наблюдается неравномерность свойств по объёму, и может возникнуть разрушение деформируемой заготовки. Для уменьшения данного эффекта можно рекомендовать приложение противодействия, а также деформирование в оболочке из компактного материала.

Литература

1. Mikhailov O.V., Shtern M.B. Allowance for a difference in resistance to extension and compression in theories of plasticity porous solids // Powder metallurgy (Translated from Russian). 1984. No. 5. – P.11–17.
2. Штефан Е.В. Разработка численного метода расчёта связанных термомеханических процессов в нелинейно деформируемых телах: Дис. ...канд. техн. наук. – Киев, 1985. – 300 с.
3. Shtern M., Mikhailov O. Defects Formation in Die Compaction: Prediction and Numerical Analysis // Proceeding of Powder Metallurgy European Congress. 22–24 October. 2001. Nice. France.
4. Кришук Н.Г., Абрамов В.И., Штефан Е.В. Математическое моделирование процессов мундштучного прессования керамических масс // Периодич. сб. науч. трудов «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование» – Одесса: НПО «ВОТУМ», 1999. Вып. № 9. – С. 56–57.