

УДК 539.214 : 621.762

МЕХАНИКА

Г. В. Мусаелян

**Исследование процесса выдавливания
пористого осесимметричного образца через плоскую матрицу
методом конечных элементов**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 12/IV 1984)

В технологических процессах порошковой металлургии широко используется процесс выдавливания, при котором образец, подвергаясь большим пластическим деформациям, уплотняется. Для определения силовых и геометрических параметров процесса и распределения пористости в деформированном образце необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние формоизменяющегося осесимметричного образца.

Различные известные приближенные методы решения задач выдавливания компактных материалов (¹⁻³) не дают полного представления о реальном процессе деформирования, так как использованные в них допущения в той или иной степени искажают характер процесса. Поэтому используют численные методы расчета, в частности, один из наиболее перспективных методов—метод конечных элементов (⁴).

Целью настоящей работы является теоретическое определение силовых и геометрических параметров процесса выдавливания осесимметричного образца через плоскую матрицу, распределения пористости, а также больших и малых пластических деформаций в деформированном образце. Задача решается методом конечных элементов (МКЭ), применительно к пористым материалам (⁵) с использованием теории пластического течения (⁶).

При решении осесимметричная заготовка разбивается на кольцевые элементы с треугольными поперечными сечениями. Определяются матрицы: $[D]$ —напряжений, учитывающая реальные механические характеристики материала, и $[B]$ —определяемая аппроксимацией перемещений по объему выбранного конечного элемента, на основании которых составляется матрица жесткости конечного элемента $[k]^e$:

$$[k]^e = 2\pi[B]^T[D][B]r\Delta, \quad (1)$$

где r —радиус центра тяжести элемента, относительно которого и определена матрица $[B]$; Δ —площадь поперечного сечения кольцевого элемента; $[B]^T$ —транспонированная матрица

При помощи уравнений статического равновесия каждого узла определяются элементы матрицы жесткости всего тела $[K]$.

Используя метод перемещений (⁴) и граничные условия, решаем следующую систему нелинейных алгебраических уравнений относи-

тельно компонентов приращения перемещений узловых точек $\{dq\}$:

$$\{dP\} = [K] \cdot \{dq\}, \quad (2)$$

где $\{dP\}$ —вектор-столбец приращения внешних узловых сил:

Для линейризации системы алгебраических уравнений применяется метод переменных параметров упругости (5). Определив величины компонентов перемещения в каждом узле для данного шага нагружения, можно вычислить компоненты приращения деформации $\{d\varepsilon\}$, напряжения $\{\sigma\}$ и пористость в любой точке тела при помощи следующих формул (5):

$$\{d\varepsilon\} = [B]\{dq\}, \quad (3)$$

$$\{\sigma\} = [D]\{d\varepsilon\}, \quad (4)$$

$$v_i = v_{i-1} + \frac{9\alpha^m(1-v_{i-1})\bar{d}\varepsilon_{\text{эКВ}} \cdot \sigma_0}{\beta^{3n} \cdot \sigma_{\text{эКВ}}}, \quad (5)$$

где α, β —функции пористости (7); m, n —параметры пористости материала; $\bar{d}\varepsilon_{\text{эКВ}}$ —эквивалентное приращение пластической деформации; σ_0 —среднее нормальное напряжение; $\sigma_{\text{эКВ}}$ —эквивалентное напряжение; v_i —пористость элемента в конце данного шага нагружения.

В качестве материала используется пористое спеченное железо из порошка марки ПЖ4М2 с начальной пористостью $v_0=0,16$, диаграмма деформирования которого аппроксимирована зависимостью $\sigma_{\text{эКВ}} = 180 + 484 (\int \bar{d}\varepsilon_{\text{эКВ}})^{0,365}$ МПа и для которого $m=1,15, n=0,035$ (7). В силу симметрии рассматривается половина осевого сечения образца (рис. 1), которая разделена на 162 равнобедренных прямоугольника с 100 узлами. Отношение начальной высоты заготовки к ее диаметру $h_0/d_0=0,5$. Безразмерная величина катета треугольного элемента $\Delta h=0,03$.

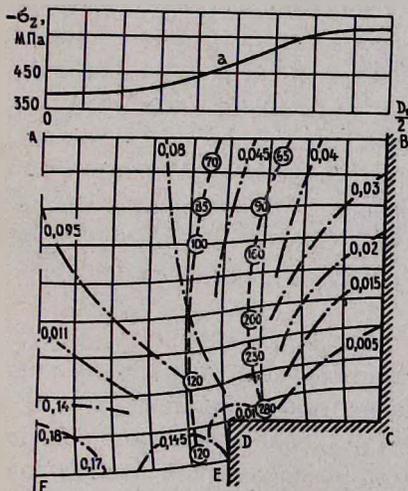


Рис. 1. Распределение компонентов напряженно-деформированного состояния пористого материала при выдавливании $\lambda=1,8$

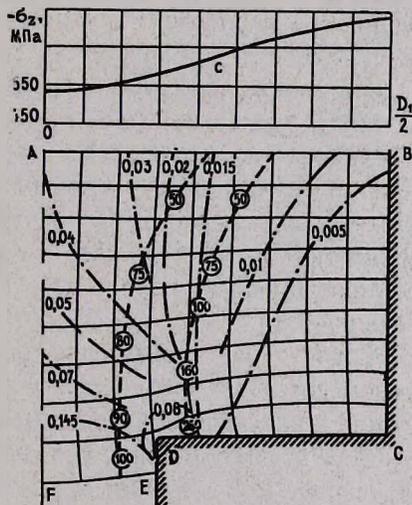


Рис. 2. Распределение компонентов напряженно-деформированного состояния пористого материала при выдавливании $\lambda=3$

При решении задачи выдавливания имеем следующие граничные условия (рис. 1): на оси AF , поверхностях AB и BC узлы элементов перемещаются только вертикально; в точке C материал не перемещается; на поверхности DC отсутствуют вертикальные перемещения, а на DE —радиальные. На поверхностях BC , DC и DE учитываются силы трения T , которые связываются с соответствующими нормальными усилиями N законом Кулона.

$$T = fN, \quad (5)$$

где f —коэффициент трения. Силы T и N являются неизвестными внешними узловыми силами, действующими на контактных поверхностях.

Уравнения равновесия контактных узлов преобразуются с учетом зависимости (5) и условия отсутствия перемещения в направлении нормали к контактной поверхности.

Нагружение осуществляется малым шагом. Принимается, что узлы под пуансоном одинаково перемещаются вертикально вниз. В качестве примеров рассмотрены следующие случаи нагружения пористой заготовки: а) степень обжатия $\lambda = 1,8$ при $f = 0,05$ (рис. 1), б) $\lambda = 3$ при $f = 0,05$ (рис. 2). При этом безразмерная величина вертикального перемещения узлов поверхности AB одинакова ($w_{AB} = 0,048$). Величины касательных напряжений в зоне больших сдвиговых деформаций, находящейся между пунктирными линиями, обведены кружками. Штрихпунктирными линиями показаны кривые равных пористостей. Из рисунков видно, что в окрестности точки F пористость увеличивается, причем основную роль здесь играет положительное среднее нормальное напряжение ($\sigma_0 > 0$). В зоне точки C пористый материал заготовки, подвергаясь большим сжимающим напряжениям ($\sigma_0 < 0$), получает беспористую структуру. После этого в точке C материал пластически не деформируется, подобно тому, как это показано для беспористых материалов в работе (1). В окрестности точки D происходит уменьшение пористости в основном за счет больших сдвиговых деформаций и, следовательно, максимальных касательных напряжений, но беспористая структура не получается, так как точка E , перемещаясь, уменьшает величину сжимающего среднего напряжения.

При дальнейшем увеличении перемещения пуансона в окрестности точки C получается беспористая застойная зона (воронка), над поверхностью которой должен течь материал. Следовательно, будут меняться граничные условия задачи. Этот вопрос в настоящей работе не обсуждается.

Сопоставление эпюр распределения пористости на рис. 1, 2 показывает, что при увеличении степени обжатия увеличиваются неоднородность пластической деформации и размеры беспористой зоны. Что касается осевых напряжений, эпюры которых под пуансоном показаны на рис. 1, 2 кривыми a , c , то они здесь распределяются более равномерно, чем в других поперечных сечениях.

Таким образом, на основе теории пластичности пористых упрочняемых материалов с использованием метода конечных элементов исследован процесс выдавливания пористого осесимметричного образца

через плоскую матрицу. Определены распределения пористости по объему заготовки и максимальных касательных напряжений по высоте деформированного образца.

Полученные распределения компонентов напряженно-деформированного состояния и пористости материала по объему заготовки дают полное представление о процессе выдавливания порошковых материалов, что позволяет прогнозировать эксплуатационные характеристики изделий.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Գ. Վ. ՄՈՒՍՍՅԵԼՅԱՆ

Ծակոտկեն առանցքափմետրիկ նմուշի հարթ մատրիցայում արտասեղման պրոցեսի հետազոտումը վերջավոր էլեմենտների մեթոդով

Բերված է հարթ մատրիցայում ծակոտկեն առանցքափմետրիկ նախապատրաստվածքի արտասեղման ժամանակ լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը: Խնդիրը լուծված է ծակոտկեն ամրակցվող նյութերի պլաստիկության տեսության հիման վրա, օգտագործված է վերջավոր էլեմենտների մեթոդը: Որոշված են դեֆորմացված նմուշի ամբողջ ծավալով ծակոտկենության և ըստ բարձրությամբ մաքսիմալ շոշափող լարումների բաշխումները: Ստացված արդյունքները լրիվ պատկերացում են տալիս արտասեղման մասին և հնարավոր են դարձնում պատրաստի դետալի շահագործողական հատկանիշների կանխագուշակումը:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

¹ Н. Л. Перлин, Теория прессования металлов, Металлургия, М., 1964. ² М. В. Сторожев, Е. А. Попов, Теория обработки металлов давлением, Машиностроение, М., 1977. ³ Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши, Механика пластических деформаций при обработке металлов, Машиностроение, М., 1969. ⁴ О. Зенкевич, Метод конечных элементов в технике, Мир, М., 1975. ⁵ Г. Л. Петросян, Г. Г. Нерсисян, С. С. Аветян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 33, № 1 (1980). ⁶ Г. Л. Петросян, Изв. вузов. Машиностроение, № 5, 1975. ⁷ Г. Л. Петросян, Г. В. Мусаелян, ДАН АрмССР, т. 77, № 2 (1983).