ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Մեխանիկա XXXIII, № 1, 1980 Механика

Г. А. ПЕТРОСЯН, Г. Г. НЕРСИСЯН, С. С. АВЕТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОСАДКИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изделия из пористых материалов, получаемых обработкой давлением, находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Для определения оптимальных параметров технологического процесса и получения изделий с заданными физико-механическими свойствами необходимо изучить напряженно-деформированное состояние деформированной заготовки.

В настоящей работе для исследовании процесса осесимметричной осадки пористых материалов применен метод конечных элементов (МКЭ) в форме метода перемещений [1]. Задача решается как по деформационной теории пластичности, так и по теории течения пористых материалов.

1. *МКЭ по деформационной теории пластичности пористых материалов.* Зависимости компонентов деформаций ε_{ij} от компонентов напряжений σ_{ij} по деформационной теории пластичности пористых материалов имеют вид [2]

$$\varepsilon_{ij}=\frac{3\varepsilon_{\text{экв}}}{2\beta^{3n}\sigma_{\text{экв}}}\left[\sigma_{ij}-(1-2\alpha_0)\,\delta_{ij}\sigma_0\right] \tag{1.1}$$

где $\varepsilon_{\text{экв}}$ и $\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентные деформации и напряжения, n — постоянная для материала, δ_{ij} — символ Кронекера, σ_0 — среднее нормальное напряжение, β — первая функция пористости

$$\beta=\left[\frac{3(1-v^{1/2})}{3-2v^{1/4}}\right]^2$$

α_0 — значение второй функции пористости

$$\alpha=\frac{1}{4}\left[\frac{3(1-v^{1/3})}{(3-2v^{1/4})\ln v}\right]^2$$

при начальной пористости материала ($v=v_0$).

Текущая пористость материала определяется по формуле [2]

$$v=1-(1-v_0)\exp\left(-\frac{9\alpha_0\sigma_0\varepsilon_{\text{экв}}}{\beta^{3n}\sigma_{\text{экв}}}\right) \tag{1.2}$$

Связь между эквивалентным напряжением и эквивалентной деформацией устанавливается диаграммой деформирования материала [3], которая аппроксимируется зависимостью

$$\sigma_{экв} = A + B\varepsilon^{m}_{экв} \qquad (1.3)$$

где A, B, m — параметры схематизированной диаграммы [4].

Разрешив уравнения (1.1) относительно напряжений с учетом допущения о коэффициенте поперечной деформации γ [5], получим

$$\{\sigma\} = [D_1]\{\varepsilon\} \qquad (1.4)$$

где матрица $[D_1]$ имеет вид

$$[D_1] = \frac{E_1(1-c_1)}{(1+c_1)(1-2c_1)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{1-c_1} & \frac{c_1}{1-c_1} & 0 \\ \frac{c_1}{1-c_1} & 1 & \frac{c_1}{1-c_1} & 0 \\ \frac{c_1}{1-c_1} & \frac{c_1}{1-c_1} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1+c_1)(1-2c_1)(1+\nu_0)}{3(1-c_1)} \end{bmatrix} \qquad (1.5)$$

Здесь

$$E_1 = \frac{2^{3n}\sigma_{экв}}{\varepsilon_{экв}}, \qquad c_1 = \frac{\gamma - \nu_0}{1+\nu_0}$$

Осесимметричная заготовка разбивается на кольцевые элементы с треугольными сечениями. Компоненты перемещений произвольной точки элемента представив в виде линейной зависимости через компоненты перемещений его узлов и использовав выражения Коши, получим уравнения, связывающие компоненты деформации элемента с компонентами перемещений узлов

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\} \qquad (1.6)$$

где $[B]$ — матрица, определяемая аппроксимацией перемещений по объему выбранного конечного элемента [1], $\{q\}$ — вектор-столбец узловых перемещений конечного элемента.

Зависимости (1.4) и (1.6), описывающие напряженно-деформированное состояние элемента, дают возможность определить матрицу жесткости конечного элемента $[k]$. Используя принцип возможных перемещений для конечного элемента, находящегося в равновесии в некотором деформированном состоянии, и относя напряженно-деформированное состояние элемента к его центру тяжести, получим [1]

$$[k] = 2\pi[\bar{B}]^{т}[D_1][\bar{B}]\bar{r}\Delta \qquad (1.7)$$

где $\bar{r}$ — радиус центра тяжести элемента, относительно которого и определена матрица $[\bar{B}]$, Δ — площадь поперечного сечения кольцевого элемента, $[B]^{т}$ — транспонированная матрица.

Матрица $[k]$ состоит из подматриц размерности 2×2, определяемых выражением [1]

$$[k_{sl}] = 2\pi[B_s]^T[D_s][B_l]\bar{r}\Delta \tag{1.8}$$

где s, l — обозначения соседних узлов.

Заменяя действующие на пористое тело внешние распределенные силы узловыми статически эквивалентными сосредоточенными силами (вектор-столбец $\{P\}$) и используя для всего тела принцип возможных перемещений, получаем

$$\{P\} = [K]\{\rho\} \tag{1.9}$$

где $\{\rho\}$ — вектор-столбец узловых перемещений сетки конечных элементов, $[K]$ — общая матрица жесткости, произвольный элемент которой определяется суммированием по всем элементам, примыкающим к узлам s и l $([K_{sl}] = \sum[k_{sl}])$, и зависит от узловых координат, степени деформации, диаграммы деформирования, а также пористости материала.

Составив общую матрицу жесткости пористого тела, задав вектор-столбец узловых усилий $\{P\}$ и решив систему нелинейных алгебраических уравнений (1.9) относительно узловых перемещений сетки конечных элементов, по формулам (1.4) и (1.6) определяются компоненты напряженно-деформированного состояния деформированного образца.

Эквивалентная деформация и текущая пористость материала в различных точках деформируемого тела находятся по формулам (1.1) и (1.2).

Решение уравнения (1.9) с заданной точностью находится итерационным методом (методом переменных параметров упругости) [5]. При этом линеаризуется система алгебраических уравнений (1.9), принимая матрицу жесткости в пределах каждого шага итерационного процесса постоянной и составленной по результатам, полученным на предыдущем шаге. На первом шаге для всех элементов величина $\varepsilon_{экв}$ считается известной и малой.

На фиг. 1 на диаграмме деформирования материала приведены положения точки A, характеризующей напряженно-деформированное состояние одного элемента под действием заданной нагрузки, определенные на первых трех ступенях итерационного процесса. Естественно ожидать, что с увеличением числа приближений точка A все ближе будет подходить к кривой диаграммы деформирования материала.

2. *МКЭ по теории течения пористых материалов.* Уравнения теории течения пористых упрочняющихся материалов приведены в работе [6] и модифицированы в [7], где для приращений пластических деформаций и пористости получены зависимости

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{3\overline{d\varepsilon}_{экв}}{2\sigma_{экв}\rho^{5n}}[\sigma_{ij} - (1-2\nu)\delta_{ij}\sigma_0] \tag{2.1}$$

$$dv = \frac{9\alpha(1-v)\overline{d\varepsilon}_{экв}\sigma_0}{\rho^{2n}\sigma_{экв}} \tag{2.2}$$

($\overline{d\varepsilon}_{экв}$ — эквивалентное приращение пластических деформаций).

Разрешая уравнения (2.1) относительно напряжений, получим

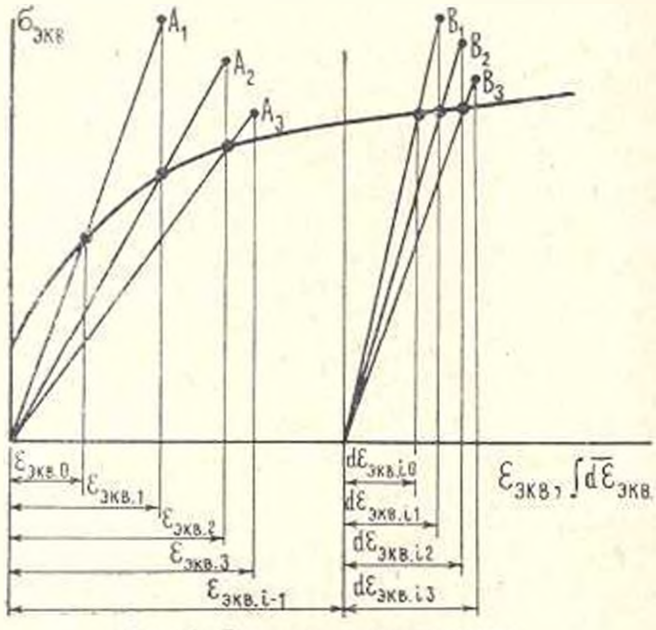
$$\{\sigma\} = [D_2]\{d\varepsilon\} \tag{2.3}$$

где матрица $[D_2]$ имеет вид

$$[D_2] = \frac{E_2(1-c_2)}{(1+c_2)(1-2c_2)}\begin{bmatrix} 1 & \dfrac{c_2}{1-c_2} & \dfrac{c_2}{1-c_2} & 0 \\ \dfrac{c_2}{1-c_2} & 1 & \dfrac{c_2}{1-c_2} & 0 \\ \dfrac{c_2}{1-c_2} & \dfrac{c_2}{1-c_2} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{(1+c_2)(1-2c_2)(1+\alpha)}{3(1-c_2)} \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

Здесь

$$E_2 = \frac{\beta^{3n}\sigma_{экв}}{d\bar{\varepsilon}_{экв}}, \qquad c_2 = \frac{\nu-\alpha}{1+\alpha}$$



Фиг. 1. Диаграмма деформирования.

Диаграмма деформирования материала аппроксимируется зависимостью

$$\sigma_{экв} = A + B(\int d\bar{\varepsilon}_{экв})^m \tag{2.5}$$

Так как в матричном уравнении (2.3) используются приращения пластических деформаций, то два других матричных уравнения, аналогичные уравнениям (1.6) и (1.9), также выражаются через соответствующие приращения

$$\{d\varepsilon\} = [B]\{dq\} \tag{2.6}$$

$$\{dP\} = [K]\{d\rho\} \tag{2.7}$$

Матрицы жесткостей конечных элементов $[k]$ и общая матрица жесткости деформированного тела $[K]$ составляются по методике, описанной при рассмотрении деформационной теории. При этом вместо матрицы напряжений $[D_1]$ используется матрица $[D_2]$.

Задавая вектор-столбец приращений узловых усилий $\{dP\}$ и решив систему нелинейных алгебраических уравнений (2.7) относительно приращений узловых перемещений сетки конечных элементов $\{d\rho\}$, по формулам (2.3) и (2.6) определяем компоненты напряженного состояния $\{\sigma\}$ и приращения пластических деформаций $\{d\varepsilon\}$ образца.

Эквивалентное приращение пластических деформаций и приращения пористости находятся по формулам (2.1) и (2.2).

Аналогично работе [5] расчет ведется применением малых последовательных нагружений.

Решение уравнения (2.7) для каждого последовательного i-того нагружения находится вышеописанным итерационным методом (точки B_1, B_2, B_3 на фиг. 1). На первых шагах итерационных процессов для всех конечных элементов величина $d\bar{\varepsilon}_{экв\,n}$ считается известной и малой.

Пористость образца и интеграл от эквивалентного приращения пластических деформаций находятся соответственно по формулам

$$v_i = v_{i-1} + dv_i$$

$$\int_0^{\varepsilon} d\bar{\varepsilon}_{экв} \approx \sum_{i=1}^{l} d\bar{\varepsilon}_{экв\,i}$$

Число последовательных нагружений зависит от величины приращения нагрузки и максимального значения достигнутой деформации.

В конце каждого шага последовательного нагружения устанавливаются новые положения координатных узлов.

3. *Численные результаты и их анализ.* Для конкретных значений параметров были выполнены расчеты как по деформационной теории пластичности, так и по теории течения пористых материалов. Отношение высоты цилиндра h_0 к его диаметру d_0 было принято равным 4/3 и 1. Сетка конечных элементов принималась равномерной, вычисления выполнялись на ЭВМ ЕС-1022 по программам, составленным на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV, для произвольного числа узлов (конечных элементов).

В силу симметрии рассматривалась четверть осевого сечения, которая была разделена при $h_0/d_0 = 4/3$ на 96 треугольных элементов с 63 узлами. Граничные условия в безразмерных перемещениях (w, u) в осевом (z) и радиальном (r) направлениях приняты в виде:

$w_k = -a = \mathrm{const}$, $u_k = 0$ на поверхности контакта,

$u = 0$ на оси образца,

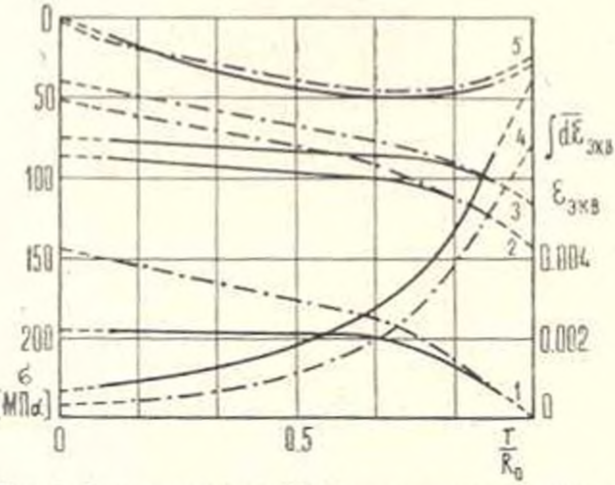
$w = 0$ на среднем поперечном сечении образца.

Материал цилиндра — спеченная медь, полученная из медного порошка марки ПМС-1 ($n = 0.25$ [3]; $\nu = 0.48$ [5]; $v_0 = 0.16$; $A = 175$ МПа; $B = 501$ МПа; $m = 0.3$).

Как показывают расчеты, напряженно-деформированные состояния образцов из пористых материалов неоднородны.

По деформационной теории пластичности рассматривались лишь различные малые нагружения образца, так как формулы (1.6) пригодны только в этих условиях. При очень малых нагрузках (соответствующих $w_k = -0.0005$; -0.001) образцы деформируются бочкообразно. При больших нагрузках ($w_k \leq -0.002$) незначительно нарушается бочкообразность образца. Максимальные перемещения получают наружные точки сечений, близких к среднему поперечному сечению.

Ниже приводятся данные, характеризующие напряженно-деформированное состояние материала при максимальной эквивалентной деформации элементов образца, равной 0.8% ($w_k = -0.002$).



Фиг. 2. Эпюры осевых σ_z (1), радиальных σ_r (3), окружных σ_θ (2), касательных τ_{rz} (5) напряжений и эквивалентной деформации (4) на контактной поверхности образца при $w_k = -0.002$; $u_r = 0$.

На фиг. 2 штрих-пунктирными линиями изображены эпюры осредненных по двум смежным элементам напряжений (кривые 1, 2, 3 и 5 соответствуют напряжениям: осевым σ_z, окружным σ_θ, радиальным σ_r и касательным τ_{rz}) и эквивалентной деформации (кривая 4) элементов, прилегающих к контактной поверхности деформируемого образца (пунктирными линиями показаны линейные экстраполяции). Элементы, прилегающие к центральным участкам контактных поверхностей, деформируются мало. Эти участки называются участками «задержанной» или «затрудненной» деформации [8].

МКЭ по теории течения пористых материалов можно изучать любые пластические деформации образца в том случае, если нагружение образца осуществляется малыми приращениями. Расчеты показывают, что напряженно-деформированное состояние образца зависит от величины шага приращений нагружения. Было установлено, что для получения более достоверных результатов необходимо использовать переменный шаг нагружения.

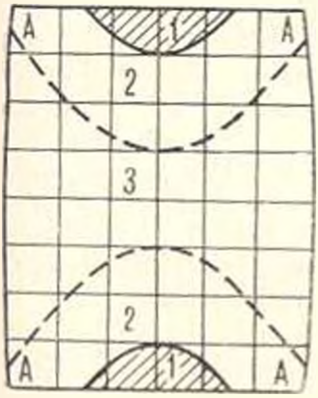
Из сопоставления результатов двух решений следует, что на первом шаге нагружения ($w_z = -0.0005$) они полностью совпадают. В средних поперечных сечениях образца при малых нагружениях величины касательных напряжений приближаются к нулю, а остальные компоненты напряженно-деформированного состояния и пористость материала получаются почти одинаковыми для всех элементов.

На фиг. 2 сплошными линиями изображены эпюры напряжений и интеграла от приращения эквивалентной пластической деформации элементов, прилегающих к контактной поверхности образца при $w_z = -0.002$.

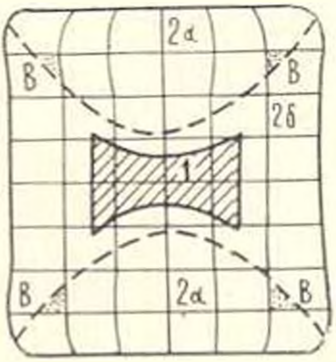
Сопоставление выполненных расчетов показывает, что с увеличением степени обжатия образца увеличивается расхождение между результатами, получаемыми по деформационной теории и теории течения.

На фиг. 3 показано осевое сечение деформированного пористого образца при $w_z = -0.002$. По распределениям пористости определены зоны «затрудненной» деформации (1), в которых средняя пористость $v_{ср1} = 0.1584$. В элементах зоны (2) пористость изменяется наиболее интенсивно ($v_{ср2} = 0.1572$). Наибольшую степень уплотнения получили примыкающие к контактным и боковой поверхностям элементы A (2) зоны образца ($v_A = 0.1545$). Промежуточное положение занимает пористость элемента зоны (3) ($v_{ср3} = 0.1582$).

С увеличением степени обжатия происходит некоторое перераспределение как компонентов напряженно-деформированного состояния, так и



Фиг. 3. Осевое сечение деформированного пористого образца при $w_z = -0.002$; $u_z = 0$.



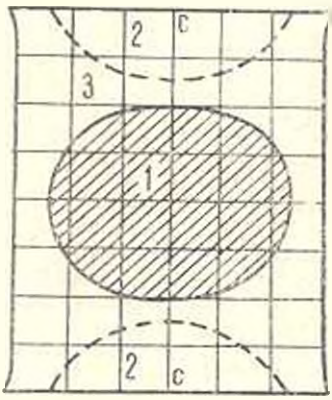
Фиг. 4. Осевое сечение деформированного пористого образца при $w_z = -0.0315$; $u_z = 0$.

пористости образца. На фиг. 4 приведено распределение пористости по осевому сечению образца при $w_z = -0.0315$ $\left(\int d\varepsilon_{экв} = 19.1\%\right)$. По фиг. 3 и 4 можно судить о процессе распространения пластической деформации в образце. Зона (2) увеличиваясь, обхватывает зону (1), большую часть зоны (3) и образует с очень сильно уменьшенной пористостью зоны (2а) и (2б) со средними пористостями 0.055 и 0.138 соответственно ($v_{min} = v_8 = 0.0094$). В зоне „затрудненной“ деформации (1) значение v_{cp1} равно 0.1547.

Расчеты МКЭ как по теории течения, так и по деформационной теории пластичности пористых материалов показывают, что при $w_z \leqslant -0.002$ нарушается бочкообразность образца. С увеличением степени обжатия увеличивается и степень нарушения бочкообразной формы образца, при этом сечения с максимальными поперечными перемещениями наружных точек приближаются к контактным поверхностям образца.

Изменения формы боковой поверхности образца в зависимости от степени деформирования позволяют предположить, что если в контактных сечениях обеспечить условия свободного поперечного перемещения ($\tau_z = 0$), то они будут наибольшими по сравнению с перемещениями u остальных точек и боковая граничная линия примет гиперболическую форму. С целью проверки этого предположения по теории течения пористых материалов МКЭ был решен пример при условии свободного расширения образца (без трения на контактных поверхностях). Исследования показали, что при $w_z = -0.0005$ неоднородность напряженно-деформированного состояния элементов образца не превышает 0.25%.

С увеличением степени обжатия неоднородность образца постепенно увеличивается и влияет на его напряженно-деформированное состояние. Боковая граничная линия образца в действительности принимает гиперболическую форму, что качественно согласуется с результатами экспериментов [9].

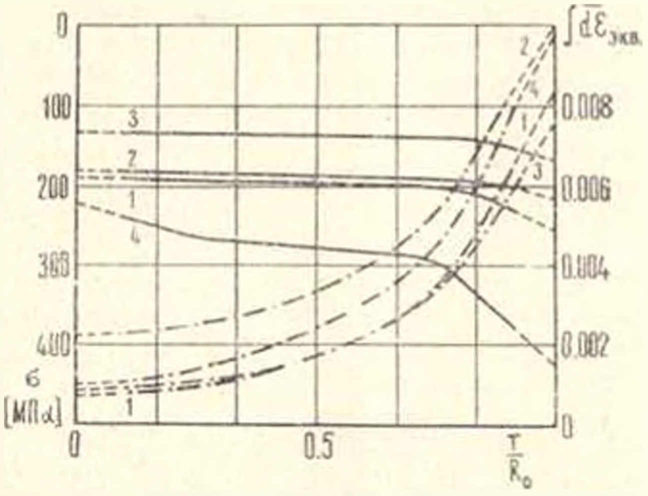


Фиг. 5. Осевое сечение деформированного пористого образца при $w_z = -0.002$; $\tau_z = 0$.

Практический интерес может представлять распределение пористости по осевому сечению свободно расширенного образца при $w_z = -0.002$; $v_0 = 0.16$ (фиг. 5, $v_{cp1} = 0.1588$; $v_{cp3} = 0.1585$; $v_{cp2} = 0.1579$; $v_{c} = 0.1577$).

Для исследования зависимости напряженно-деформированного состояния от механических характеристик материала дополнительно были рассмотрены случаи с изменением значения лишь одного параметра (начальной пористости или коэффициента поперечной деформации): а) $\gamma = 0.44$; б) $v_0 = 0.32$; в) $v_0 = 0.005$.

На фиг. 6 для элементов, прилегающих к контактной поверхности деформированного образца, приведены кривые изменения осевых напряжений σ_z (сплошные линии) и интеграла от приращений эквивалентных пластических деформаций (штрих-пунктирные линии) в зависимости от безразмерной радиальной координаты r/R_0 при $w_1 = -0.002$ и $u_1 = 0$. При этом кривые 1 соответствуют основному решению МКЭ по теории течения ($v_0 = 0.16$; $\gamma = 0.48$), а кривые 2, 3 и 4 — случаям а), б) и в) соответственно. Из кривых фиг. 6 видно, что параметры механических характеристик пористого материала оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние образца.



Фиг. 6. Элюры осевых напряжений (сплошные линии) и $\int \overline{d\varepsilon}_{экв}$ (штрих-пунктирные линии) на контактной поверхности образца при $w_1 = -0.002$; $u_1 = 0$ (1 — $v_0 = 0.16$; $\gamma = 0.48$; 2 — $v_0 = 0.16$; $\gamma = 0.44$; 3 — $v_0 = 0.32$; $\gamma = 0.48$; 4 — $v_0 = 0.005$; $\gamma = 0.48$).

Расчеты свободно расширяющегося образца ($\tau_1 = 0$) показывают, что беспористые ($v_0 \to 0$) образцы деформируются аналогично пористым с образованием гиперболической формы боковой поверхности. Как уже было отмечено выше, это объясняется появлением неоднородности и ее влиянием на напряженно-деформированное состояние образца. Приближенная теория [10], основанная на гипотезе плоских сечений и пренебрежении касательных напряжений в поперечных сечениях беспористого неоднородного по высоте цилиндрического образца, подтверждает гиперболичность боковой поверхности образца при сжатии его в указанных условиях.

Исследования показывают, что как на напряженно-деформированное состояние, так и на распределение пористости образца существенное влияние оказывает также изменение величины h_0/d_0. При $h_0/d_0 = 1,0$ (четверть осевого сечения образца была разделена на 72 одинаковых треугольных элемента с 49 узлами) при отсутствии смещения точек на контактной поверхности образца зоны (2) сливаются (фиг. 3), а зона (3), уменьшаясь, занимает центральную кольцеобразную часть боковой области образца.

При больших деформациях $\left(\int d\varepsilon_{\ldots} > 10\%\right)$ сливаются также зоны (1) и (2).

Полученные результаты качественно подтверждаются многочисленными экспериментами, проведенными как на беспористых, так и на пористых материалах [8, 9].

Таким образом, подбором граничных условий и параметров механических характеристик материалов можно решить ряд важных вопросов технологического процесса: установить оптимальную форму деформированного образца или оптимальные величины условий нагружения, определить распределение пористости, пластической деформации и т. д.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Полученные МКЭ решения осесимметричных задач обработки пористых материалов давлением на основе теории течения дают возможность исследовать как малые, так и большие пластические деформации.

2. Применение МКЭ в расчетах, основанных на деформационной теории пластичности пористых материалов, дает достаточно близкие результаты с данными, полученными по теории течения при небольших пластических деформациях.

3. Разработанная методика и программа вычислений позволяют определить компоненты напряженно-деформированного состояния и распределение пористости по объему осесимметричных пористых образцов, а также зоны больших пластических деформаций, зоны «затрудненных» деформаций и распространение пластических зон при увеличении степени обжатия образца.

4. Показано, что изменяя граничные условия и степень обжатия, можно получить деформированные образцы с различными формами боковой поверхности: бочкообразной, гиперболической и т. д.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступила 19 IX 1979

Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Դ. Գ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Ս. Ս. ԱՎԵՏՅԱՆ

ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՌԱՆՑՔԱՍԻՄԵՏՐԻԿ ԽՍՏԵՑՄԱՆ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ԵՎ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հետազոտվում է ծակոտկեն նյութերի առանցքասիմետրիկ նմուշների սրտցեր ինչպես կոնտակտային մակերևույթների վրա մարմնի կետերի լառավիճային սղղությամբ անզավախության բացակայության, այնպես էլ նրանց առկա ընդարձակման պայմաններում։ Խնդիրը լուծվում է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության երկու տեսություններով (դեֆորմացիոն և հոսողության), օգտագործելով վերջավոր-էլեմենտների եղանակը։ Կազմված է ծրա-

գիր Ֆորտրան—4 ալգորիթմական լեզվով։ Սեղմման տարբեր աստիճանների, նյութերի մեխանիկական բնութագրերի տարբեր պարամետրերի արժեքների և նմուշի բարձրության ու նրա տրամագծի տարբեր հարաբերությունների համար ստացվել են արդյունքներ, որոնցով բնորոշվում են ծակոտկեն նյութից պատրաստված նմուշի լարվածային և դեֆորմացիոն վիճակները և նրա ծակոտկենությունը։

Ցույց է տրված, որ ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսությամբ ստացված արդյունքները բավականաչափ հուսալի են միայն ոչ մեծ պլաստիկ դեֆորմացիաների համար, այն դեպքում, երբ հոսունության տեսությամբ ստացված արդյունքները համարվում են հուսալի ինչպես փոքր, այնպես էլ մեծ պլաստիկ դեֆորմացիաների համար։

INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF AXISYMMETRIC UPSETTING OF POROUS MATERIALS BY THE FINITE ELEMENTS TECHNIQUE

G. L. PETROSIAN, G. G. NERSISIAN, S. S. AVETIAN

S u m m a r y

Investigated is the process of axisymmetric upsetting of porous materials both with no displacement points on the contact surfacas in radial direction and under free extension of the sample. Two theories (deformative and that of flow) of porous material plasticity and the method of finite elements are applied. The programme is drawn up in the FORTRAN-IV algorithmical language.

Data are obtained for various degrees of compression, various values of mechanical characteristics of materials and different height-to-diameter ratios of the sample.

The results obtained by the deformation theory of porous materials are shown to be reliable enough for slight plastic deformations only while those obtained through the flow theory are reliable both for slight and extensive plastic deformations.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. М., Изд. «Мир», 1975.
2. *Петросян Г. Л.* Деформационная теория пластичности пористых материалов. «Изв. ВУЗов. Машиностроение», 1978, № 11.
3. *Манукян Н. В., Петросян Г. Л., Погосян М. З.* Диаграмма деформирования пористого материала. «Изв. ВУЗов. Машиностроение», 1978, № 3.
4. *Малинин Н. Н.* Прикладная теория пластичности и ползучести. М., Изд. «Машиностроение», 1975.
5. *Малинин Н. Н., Романов К. И.* Решение задач горячего формоизменения методом конечных элементов. «Изв. ВУЗов. Машиностроение», 1977, № 8.
6. *Петросян Г. Л.* О теории пластичности пористых тел. «Изв. ВУЗов. Машиностроение», 1977, № 6.

7. *Петросян Г. Л.* О теории пластичности пористых тел. Тезисы докладов XIX научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава втузов Закавказских республик, посвященной 60-летию Великой Октябрьской социалистической революции, Тбилиси, 1977.
8. *Сторожев М. В., Попов Е. А.* Теория обработки металлов давлением. М., Изд. «Машиностроение», 1977.
9. Порошковая металлургия материалов специального назначения, под редакцией Дж. Барка, В. Вейса. Перевод с английского языка. М., «Металлургия», 1977.
10. *Петросян Ж. Л.* Исследование неоднородности по толщине прокатанного листа. «Изв. ВУЗов. Машиностроение», 1974, № 10.