

РАСЧЕТ НА ЭВМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПОРИСТОГО ТЕЛА ПРИ ЕГО ВЫДАВЛИВАНИИ

Подавляющее количество схем прессования спеченных материалов представляет собой комбинации их прямого и обратного выдавливания. Даже такой уникальный метод, как гидростатическое (или гидродинамическое) прессование, можно схематизировать до прямого выдавливания тел в матрице без трения.

Система уравнений, описывающих течение пористого материала, имеет вид [1–3]:

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \frac{1}{\beta^{n+0,5}} \left(\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij} + 9\alpha^m \sigma_0^2 \right)^{1/2}; \quad (1)$$

$$\overline{d\epsilon}_{\text{эКВ}} = \beta^{2n-0,5} \left(\frac{2}{3} d\epsilon_{ij} d\epsilon_{ij} + \frac{d\epsilon_0^2}{\alpha^m} \right)^{1/2}; \quad (2)$$

$$d\epsilon_{ij} = \frac{3\overline{d\epsilon}_{\text{эКВ}}}{2\beta^{3n}\sigma_{\text{эКВ}}} \left[\sigma_{ij} - (1 - 2\alpha^m) \delta_{ij}\sigma_0 \right]; \quad (3)$$

$$d\nu = \frac{9\alpha^m (1 - \nu) \sigma_0 \overline{d\epsilon}_{\text{эКВ}}}{\beta^{3n}\sigma_{\text{эКВ}}}. \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{эКВ}}$ — интенсивность напряжений; S_{ij} — компоненты девиатора напряжений; σ_0 — среднее нормальное напряжение; α, β — значения функций пористости:

$$\alpha = \frac{1}{4} \left[\frac{3(1 - \sqrt[3]{\nu})}{(3 - 2\sqrt[4]{\nu}) \ln \nu} \right]^2; \quad \beta = \left[\frac{3(1 - \sqrt{\nu})}{3 - 2\sqrt[4]{\nu}} \right]^2;$$

m, n — параметры реальной пористости и приведенных механических свойств спеченного материала постоянны; e_{ij} — компоненты девиатора пластических деформаций; $d\epsilon_{\text{эКВ}}$ — эквивалентные приращения пластических деформаций; $d\epsilon_{ij}$ — компоненты тензора приращений пластических деформаций; δ_{ij} — символ Кронекера; ν — относительная пористость материала.

С учетом условия пластичности Р. Грина [3]

$$\sigma_i^2 + 9\alpha^m \sigma_0^2 - \beta^{2n+1} \sigma_T^2 = 0, \quad (5)$$

где σ_T — предел текучести спеченного материала.

Система уравнений (1)–(5) решалась методом конечных элементов на ЭВМ совместно с уравнениями равновесия Коши (6)

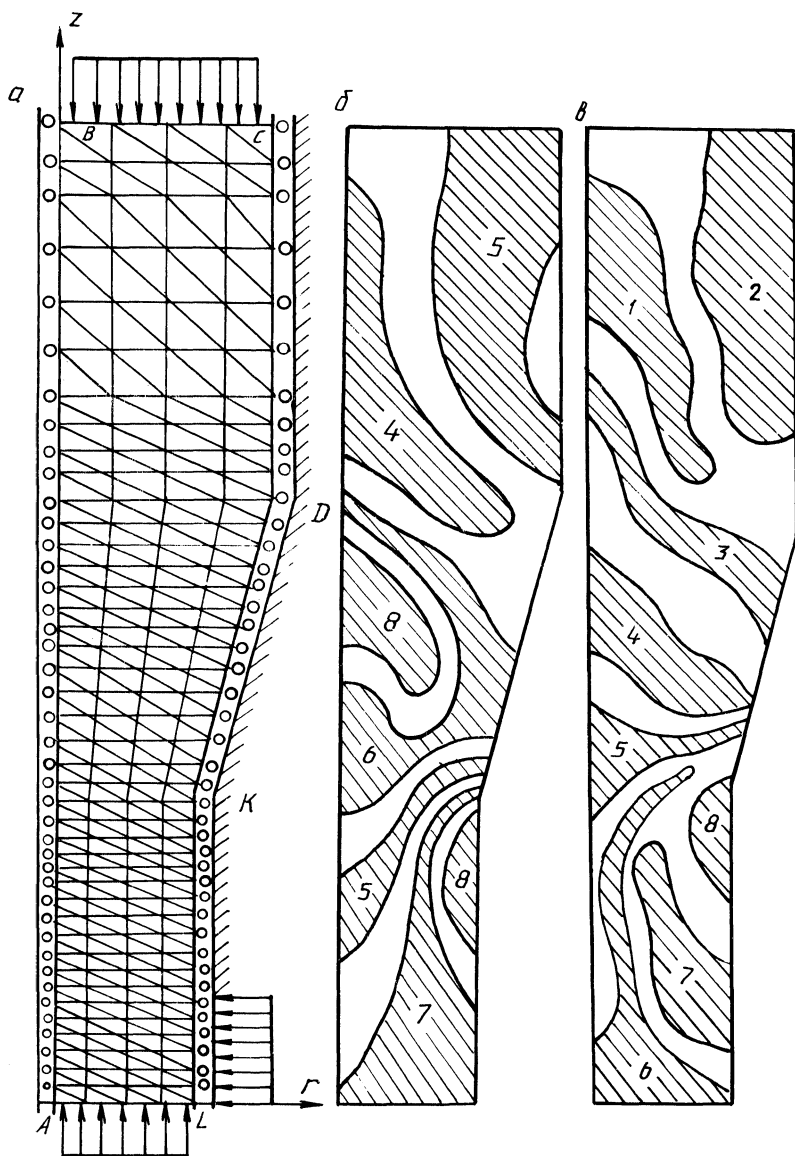


Рис. 1. Расчетная область (а) и распределение осевых напряжений (б, в) при выдавливании спеченного материала:

1 — -110 МПа; 2 — -90, 3 — -70, 4 — -50, 5 — -30, 6 — -10, 7 — -0, 8 — +20 МПа (растягивающие напряжения)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_z - \sigma_\theta}{r} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Расчетная область задачи приведена на рис. 1, а. В силу симметрии процесса выдавливания можно ограничиться только рассмотрением меридианного сечения заготовки. Дискретная модель содержит 319 узлов и 572 элемента. На оси вращения заданы кинематические граничные условия шарнирного опирания. На поверхности скольжения DK введено кинематическое ограничение по нормали к поверхности

$$u_z - u_r \operatorname{tg} \alpha = 0,$$

где u_r , u_z — радиальные осевые перемещения узлов; α — угол выдавливания.

Одновременно на DK учитывались сосредоточенные узловые нагрузки, обусловленные наличием сил Кулонова трения [4].

На рис. 1 приведены результаты численных расчетов распределения осевых напряжений для двух вариантов: без (рис. 1, б) и с противодавлением (рис. 1, в). Во втором случае нагрузки приложены к поверхностям AL и LK . Сравнение рис. 1, б и 1, в показывает, что при отсутствии противодействия деформация (20 %) вызывает появление осевых растягивающих напряжений как на поверхности заготовки, так и на ее оси, в то время как противодействие даже при значительно больших деформациях (36 %) локализует растягивающие напряжения вблизи поверхности деформируемого образца (см. рис. 1, в).

Следовательно, повышение уровня сжимающих напряжений в результате наложения противодействия на выходе материала из матрицы позволяет снизить или вообще снять (при соответствующем подборе противодействия) эффект растяжения материала, повысив тем самым качество получаемых изделий. В частности, при выдавливании спеченной меди через фильеру со степенью деформации пористого тела 20 % достаточно создать противодействие в 77 МПа, чтобы полностью убрать растягивающие напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

- Петросян Г.Л., Апоян Г.С. Изучение действительных механических свойств пористых материалов в процессе экструзии // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. — 1976. — № 6. — С. 174—176.
- Петросян Г.Л. О теории пластичности пористых тел // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. — 1977. — № 5. — С. 10—13.
- Грин Р. Дж. Теория пластичности пористых тел // Механика. — М., 1973. — № 4 (140). — С. 109—120.
- Расчетно-экспериментальное исследование процесса гидростатического выдавливания полых изделий / Ю.Ф. Черный, А.С. Цыбенко, Е.В. Штефан и др. // Пробл. прочности. — 1984. — № 4. — С. 101—106.