

Пример. При заданных размерах: $l_{0,1} = 0,1$ м, $l_{1,2} = 0,2$ м, $l_0 = 0$; массах $m_1 = 0,8$ кг, $m_2 = 2,3$ кг, $m_3 = 3,1$ кг; координатах центров масс $l_{0,5_1} = 0,05$ м, $l_{1,5_2} = 0,1$ м, $l_{2,5_3} = 0$; моментах инерции $I_{0,5_1} = 0,003$ кг·м², $I_{1,5_2} = 0,013$ кг·м², $I_{2,5_3} = 0,03$ кг·м²; силы полезного сопротивления $P_{\text{ис}} = 100$ Н и средней угловой скорости входного звена $\omega_{\text{ср}} = 15$ с⁻¹ кривошипно-ползунного механизма спроектировать механизм, обеспечивающий коэффициент неравномерности движения $\{z\} = 1,5$ и наилучшую равномерную уравновешенность механизма. По предложенной методике выбирая $l_{1,2} = 0,2$ м, определяем: $m_H = 21,5$ кг, $c = 0,01$ м, $\varphi_0 = 0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов. — М.: Наука, 1967. — 776 с.
2. Баранов Г. Г. Курс теории механизмов и машин. — М.: Машиностроение, 1967. — 508 с.
3. Герсвиндт Я. Л. О применении методов Чебышева к задаче уравновешивания механизмов. — М.—Л.: ОГНЗ, 1948. — 148 с.
4. Герсвиндт Я. Л. Динамический синтез механизмов по Чебышеву. — Харьков: Изд-во ХГУ, 1958. — 134 с.

Нав. АН Армени (сер. ТН), т. МLIII, № 5, 1990, с.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 620.10:621.762

Г. Л. ПЕТРОСЯН, В. Г. СААКЯН, Г. В. МУСАЕЛЯН,
К. Н. ЭДЛИЯН, А. О. СИМОНЯН

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОЛСТОСТЕННЫХ ТИТАНОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПО ДОПУСКАЕМЫМ НАГРУЗКАМ

Предложен численный метод определения предельного давления толстостенных титановых фильтров. Используются зависимости теории пластичности реальных пористых материалов. Приведен анализ данных для различных толщин и пористостей толстостенных титановых фильтров.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Մաշինային և համակարգիչ տիպի ֆիլտրերի թույլատրելի ճնշման որոշման թվային մեթոդը Օգտագործված է իրական թվային կոնֆերի պլաստիկության տեսության բանաձևերը Բերնսի և Լարրեր համապատասխանների և ծավալայինության համակարգի տիպի ֆիլտրերի թանձարային ճնշման ազդեցության գերազանցությունը:

В работе [1] используется метод конечных элементов для исследования процесса пластического деформирования толстостенных бесконечно длинных спеченных труб, нагруженных радиальным давлением. Следует отметить, что это решение не охватывает все практически важные случаи пластического деформирования толстостенных спеченных труб.

Целью настоящей работы являются исследование предельного состояния толстостенных фильтров из неупрочняемого титана при отсутствии осевых напряжений и выявление особенностей расчета спеченных труб по допускаемым нагрузкам. Для этого используем следующие зависимости теории пластичности реальных пористых материалов [2]:

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

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{3d\varepsilon_{\text{экв}}}{2\sigma_{\text{экв}} \beta^{2m}} [\tau_{ij} - (1 - 2\alpha^m) \delta_{ij} \sigma_0], \quad (2)$$

$$dv = \frac{9\alpha^m (1 - v) d\varepsilon_{\text{экв}} \tau_r}{\beta^{2m} \sigma_{\text{экв}}}, \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{v}{2(1 - v)}, \quad \beta = (1 - v)^2, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентное напряжение, $d\varepsilon_{\text{экв}}$ — эквивалентное приращение пластической деформации, $d\varepsilon_{ij}$ — компоненты тензора приращений пластических деформаций, S_{ij} , τ_{ij} — компоненты девиаторов и тензоров напряжений, $\tau_r = \frac{\delta_{ij} \tau_{ij}}{3}$ — среднее напряжение, $d\varepsilon_0 =$

$\frac{\delta_{ij} d\varepsilon_{ij}}{3}$ — приращение средней деформации, δ_{ij} — символ Кронекера, α и β — функции пористости, m и n — параметры пористости.

Условие возникновения пластической деформации реальных пористых материалов имеет вид [2]

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

где σ_* — предел текучести вещества пористого материала при одноосном напряженном состоянии, который является различным для разных пористых материалов и выражается через начальную пористость v_0 и предел текучести компактного материала $(\tau_r)_k$ следующей зависимостью:

$$\sigma_* = \frac{1}{\beta_0^{n+0,5}} \frac{1 - v_0^{2,5}}{1 - v_0^{2,5}} (\tau_r)_k, \quad (6)$$

где α_0 , β_0 — значения функций пористости α , β при $v = v_0$.

Для решения вышеуказанной задачи рассматривается толстостенная пористая труба с внутренним радиусом a , наружным — b , нагруженная внутренним давлением p . Принимается, что осевые напряжения отсутствуют: $\sigma_z = 0$. Уравнения равновесия и совместности деформаций для элемента толстостенной трубы имеют вид

$$dr \sigma_r = \frac{dr}{r} (\tau_k - \tau_r), \quad (7)$$

$$r \frac{dz_r}{dr} = z_r - z_0, \quad (8)$$

где z — текущий радиус трубы.

Из уравнения (1) с учетом условия $z = 0$ получаем

$$z_{\text{вн}} = \frac{1}{\beta^{n-0.5}} \sqrt{z_0^2(1+x^m) - \sigma_r \sigma_0(1-2x^m) + z_r^2(1+x^m)}. \quad (9)$$

Решая уравнение (9) относительно z_r , находим

$$z_r = \frac{\sigma_r(1-2x^m) + 1}{2(1+x^m)} \sqrt{4(1+x^m)z_{\text{вн}}^2\beta^{2n-2} - 3z_0^2(1+4x^m)}. \quad (10)$$

В расчетах используются следующие данные механических характеристик материала: $(z_1)_r = 315$ МПа, $m = 1.4$, $n = 0.56$. Численное решение задачи с учетом граничных условий начинается с наружного слоя трубы, где радиальное напряжение равно нулю ($z_r = 0$). Напряжение σ_r определяется из уравнения (10) при $v = v_0$. По формулам (4) определяются σ_0 и β_0 , а по (6) — z_0 .

Так как по условию задачи пластическая деформация только что достигла наружного слоя (нулевая точка), то для этого слоя компоненты деформаций ε_r и ε_0 можно определить из зависимостей обобщенного закона Гука, в котором используются модуль упругости первого рода E_0 и коэффициент поперечной деформации пористого материала ν_0 , зависящие от пористости: $E_0 = E(1-\nu)^{2.5}$, $\nu_0 = \nu(1-\nu)^{0.5}$. Здесь E , ν — модуль упругости первого рода и коэффициент поперечной деформации вещества спеченного материала. Для титана принимаем $E = 1.1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0.32$.

После определения компонентов напряженно-деформированного состояния наружных точек толстостенного фильтра для получения данных первой точки (первый шаг вовнутрь фильтра) задается малая величина эквивалентного приращения пластических деформаций (для всех шагов принимается $\Delta z_{\text{вн}} = 0.0001$) и по известным величинам компонентов напряжений $z_{0,r}$, пористости v_0 , соответствующих значений σ_0 и β_0 , согласно (2) определяются $d\varepsilon_0$ и $d\varepsilon_r$. Уравнение (8) позволяет определить dz_r . Радиус данного слоя определяется выражением $r = b + dr$. Приращение радиального напряжения dz_r находится из уравнения (7), а приращение пористости dv_0 — из (3). Для определения z_{r1} , v_1 , σ_{r1} и σ_1 используются следующие зависимости: $z_{r1} = z_r + dz_r$, $v_1 = v_0 + dv_0$, $\sigma_{r1} = \sigma_r + dz_r$, $\sigma_1 = \sigma_0 + d\sigma_0$. Значения напряжений σ_1 для первой точки устанавливаем из формулы (10).

Найденные значения компонентов напряженно-деформированного состояния и пористости для первой точки, вышеприведенные уравнения и алгоритм вычислений позволяют повторить цикл и для второй точки и определить новые z , β (формулы 4), $d\varepsilon_0$, $d\varepsilon_r$ (2), dr (8),

$r_2 = r_1 + dr_1$, $d\sigma_{r_1}$ (7), dv_2 (3), $\sigma_{r_2} = \sigma_{r_1} + d\sigma_{r_1}$, $\sigma_2 = v_1 + dv_2$, $\sigma_{r_2} = \epsilon_{r_2} + d\epsilon_{r_2}$, $\epsilon_{\theta_2} = \epsilon_{\theta_1} + d\epsilon_{\theta_1}$ и σ_{θ_2} (10). Цикл расчета повторяется до тех пор, пока r не сравняется с внутренним радиусом a .

Таким образом, постепенным перемещением вовнутрь толстостенного фильтра получается распределение компонентов напряженно-деформированного состояния по толщине фильтра и устанавливается предельное давление фильтра $p_{пр} = \sigma_{r=a}$ ($\sigma_{r=a}$ — величина σ_r во внутреннем слое при $r = a$).

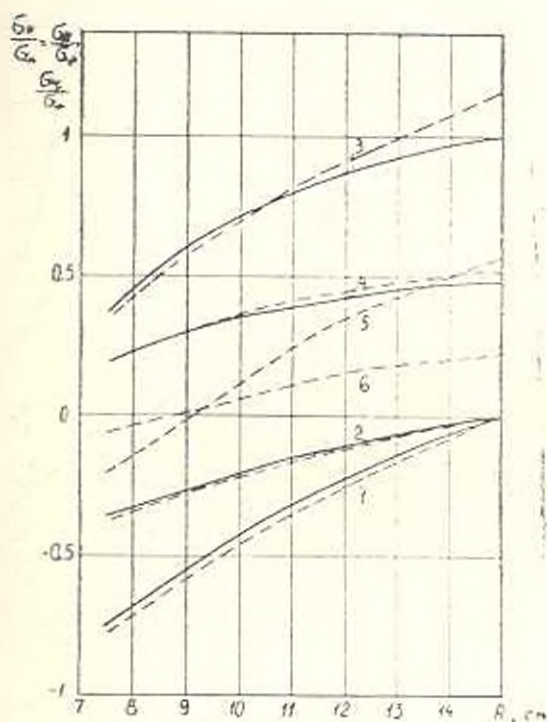
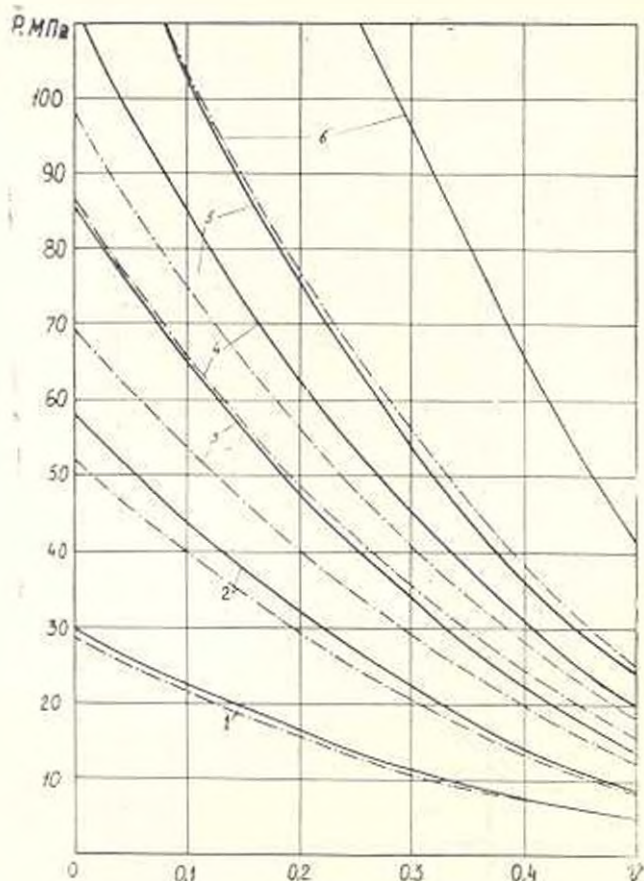


Рис. 1. Эпюры напряжений в толстостенном титановом фильтре: 1, 3, 5 — при $v_0 = 0,0005$, 2, 4, 6 — при $v_0 = 0,2$.

На рис. 1 сплошными линиями показаны эпюры распределения радиальных σ_r (1, 2) и окружных σ_θ (3, 4) напряжений по толщине фильтра для начальных пористостей материала $v_0 = 0,0005$ (беспористый) и $v_0 = 0,2$ при $k = 2$. Штриховые линии соответствуют случаю отсутствия осевой деформации фильтра $\sigma_z = 0$ ($\sigma_z \neq 0$). Линии 5 и 6 показывают распределения осевых напряжений σ_z . Сопоставление данных рис. 1 показывает, во-первых, что величина начальной пористости материала оказывает существенное влияние на компоненты напряженного состояния толстостенного фильтра и, во-вторых, что для случаев $\sigma_z = 0$ и $\sigma_z \neq 0$ напряжения σ_r почти совпадают, а окружные σ_θ (кривые 3, 4) и осевые σ_z (5, 6) напряжения в наибольшей степени отличаются по величине в точках наружного слоя фильтра.

При этом с увеличением пористости материала это расхождение уменьшается. Следует отметить, что характер распределения напряжений для беспористого материала совпадает с результатами решения, приведенного в [3].



Диаграммы $\sigma - v$ для различных k . Кривая 1 при $k = 1,1$, 2 — $k = 1,2$, 3 — $k = 1,3$, 4 — $k = 1,4$, 5 — $k = 1,5$, 6 — $k = 2$.

На рис. 2 сплошными линиями показаны графики зависимостей между предельным давлением $P_{\text{пл}}$ и пористостью материала для различных k . Штрих-пунктирные линии соответствуют расчету по допускаемым напряжениям при $\sigma_0 = 0$, где допускаемое внутреннее давление с использованием формул Ламе и условия (б) определяется следующей формулой:

$$P = \frac{(k^2 - 1) \bar{\sigma}^{0,5}}{1 + 4k^m + 3k^4} \bar{\sigma}.$$

При этом предполагается, что пластическая деформация возникает только в опасной (внутренней) точке фильтра.

Анализ кривых рис. 2 показывает, что расчеты по допускаемым нагрузкам дают большие значения предельных давлений. Несмотря на

го, что кривые рис. 2 достаточно наглядно показывают влияние пористости материала ε и размеров фильтра k на величину предельного давления, для практических целей целесообразным является на основании этих данных построить также кривые изменения $k-\varepsilon$ для различных внутренних давлений p (рис. 3). Кривые 1—13 соответствуют

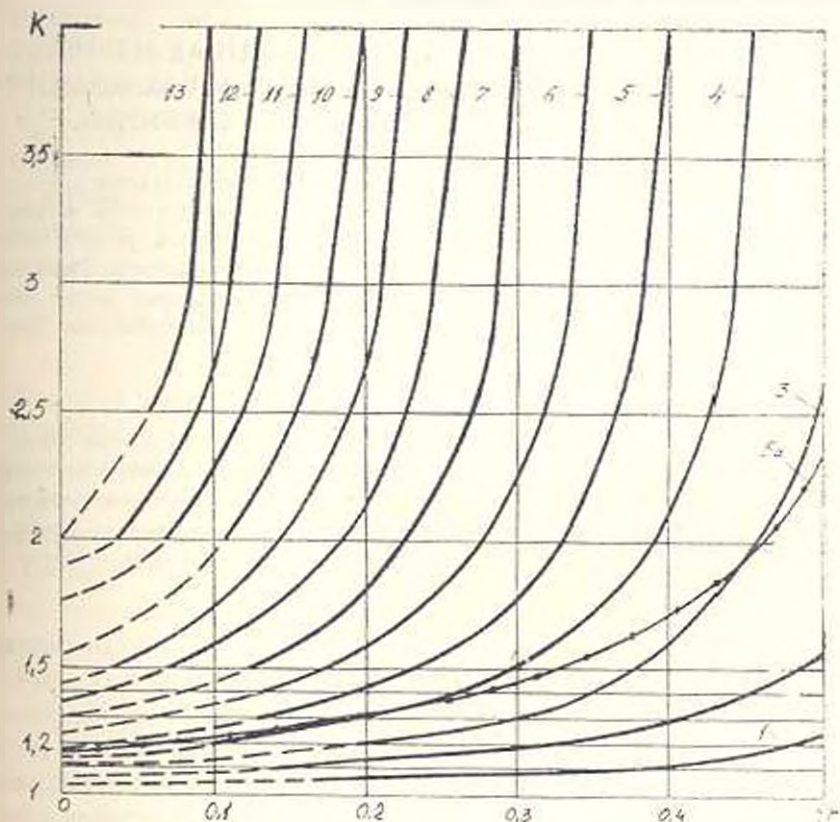


Рис. 3. Диаграммы $k-\varepsilon$ для различных p_0

расчетам по допускаемым напряжениям для различных внутренних давлений p (от 10 до 130 МПа). Кривая 5а, обозначенная точками, соответствует расчетам по допускаемым нагрузкам при $p_{np} = 50$ МПа. Сравнение кривых 5 и 5а показывает, что для заданного предельного давления (в данном случае 50 МПа) расчет по допускаемым нагрузкам даст меньшую толщину фильтра и, следовательно, экономия материала, необходимого для его изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сердюк Г. Г., Михайлов О. В. Математическое моделирование пластического деформирования порошковых материалов при наличии свободной поверхности // Порошковая металлургия.— 1986. № 4. С. 18—22.
2. Петросян Г. Л. Пластическое деформирование порошковых материалов.— М.: Металлургия, 1988.— 153 с.
3. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести.— М.: Машиностроение, 1975.— 399 с.