

УДК 539.374

МЕХАНИКА

Г. Л. Петросян

Формование пористых труб и стержней

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 10/11 1977)

Пористые трубы и стержни, изготовленные волочением или прессованием, находят широкое применение в машиностроении. Для получения необходимых свойств и размеров пористых изделий, а также для расчета силовых параметров формования, необходимо исследовать напряженно-деформированные состояния пористых труб и стержней.

В основу исследования положена теория пластичности пористых тел Грина (¹), модифицированная для упрочняющихся материалов. Учтено также, что во всех материалах имеются в определенном количестве неметаллические включения и пустоты (^{2,3}). Принимается, что они равномерно распределены по всему объему материала и создают в металле пористости: постоянную v_0 и переменную

v ($v_0 + v = \frac{v_0}{v_1}$, v_0 — объем пор и неметаллических включений в об-

разце, v_1 — объем образца).

Согласно теории пластичности пористых тел с учетом влияния величины v_0 зависимости между компонентами приращений пластических деформаций и напряжений, эквивалентное напряжение и приращение пористости, в главных осях представляются в виде:

$$\begin{aligned} d\varepsilon_1^p &= \frac{d\varepsilon_{\text{экв}}^p}{2\beta^{3n}\sigma_{\text{экв}}} \left[2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 + 2\gamma(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \right], \\ d\varepsilon_2^p &= \frac{d\varepsilon_{\text{экв}}^p}{2\beta^{3n}\sigma_{\text{экв}}} \left[2\sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_1 + 2\gamma(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \right], \\ d\varepsilon_3^p &= \frac{d\varepsilon_{\text{экв}}^p}{2\beta^{3n}\sigma_{\text{экв}}} \left[2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2 + 2\gamma(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\beta^{n+0.5}} \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] + \gamma(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}, \quad (2)$$

$$dv = \frac{3d\epsilon_{\text{экв}}^p}{\beta^{3n} \sigma_{\text{экв}}} \gamma (1 - v - v_0) (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad (3)$$

где n — постоянная для материала,

$d\epsilon_{\text{экв}}^p$ — эквивалентное приращение пластических деформаций, γ и β параметры пористости $v + v_0$. Параметры γ и β по Грину выражаются через $v + v_0$ достаточно сложными выражениями, которые можно аппроксимировать более простыми формулами

при $0 \leq v + v_0 \leq 0,25$ $\gamma = 0,15(v + v_0)^{0,6}$; $\beta = 1 - 1,8(v + v_0)^{0,9}$;

при $0,25 \leq v + v_0 \leq 0,6$ $\gamma = 0,0185 + 0,183(v + v_0)$; $\beta = 0,73 - v - v_0$. (4)

1. Используя уравнения деформаций осесимметрично нагруженной безмоментной оболочки вращения (4), уравнения равновесия элемента, вырезанного главными сечениями, с учетом уравнений (1) - (4) получаем систему уравнений, позволяющую определить необходимые величины при формовании пористых труб в конических матрицах:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_m}{dr} &= \frac{(1 - f \operatorname{ctg} \alpha) \sigma_0}{r} - \frac{\sigma_m}{r} - \frac{4\gamma(\sigma_0 + \sigma_m) + \sigma_0 - 2\sigma_m}{2\sigma_0 - \sigma_m + 2\gamma(\sigma_0 + \sigma_m)} \\ \frac{d\delta}{dr} &= \frac{\delta(\sigma_m + \sigma_0)(2\gamma - 1)}{r[2\sigma_0 - \sigma_m + 2\gamma(\sigma_0 + \sigma_m)]} \\ \frac{dv}{dr} &= \frac{69\gamma(1 - v - v_0)(\sigma_m + \sigma_0)}{r[2\sigma_0 - \sigma_m + 2\gamma(\sigma_0 + \sigma_m)]} \\ \frac{d\epsilon_{\text{экв}}^p}{dr} &= \frac{2\beta^{3n} \sigma_{\text{экв}}}{r[2\sigma_0 - \sigma_m + 2\gamma(\sigma_0 + \sigma_m)]} \\ \sigma_0 &= \frac{(1 - 2\gamma)\sigma_m - \sqrt{4\beta^{2n+1}(1 + \gamma)\sigma_{\text{экв}}^2 - 3(1 + 4\gamma)\sigma_m^2}}{2(1 + \gamma)}, \end{aligned} \quad (5)$$

где σ_m , σ_0 соответственно меридиональное и окружное напряжения, r — радиус окружности в сечении, перпендикулярном к оси оболочки, δ — толщина стенки, f — коэффициент трения, α — угол между осью конической матрицы и его образующей.

Задаваясь начальными значениями σ_{m1} , δ_1 , $\epsilon_{\text{экв}}^p$ и v_1 , при $r = r_1$, и зная диаграмму деформирования материала оболочки, численным интегрированием системы уравнений (5), находятся величины σ_m , δ , $\epsilon_{\text{экв}}^p$, v и σ_0 в разных точках конической части оболочки.

2. Задача формования цилиндрического стержня в конических матрицах решена приближенно (3) и получена следующая система уравнений:

$$\frac{dp_z}{dz} (D_0 + 2z \operatorname{tg} \alpha) = 4 \operatorname{tg} \alpha (p_r - p_z) + 4 f p_r,$$

$$\frac{dv}{dz} = - \frac{12 \gamma \operatorname{tg} \alpha (1 - v_0 - v) (2p_r - p_z)}{(D_0 + 2z \operatorname{tg} \alpha) [p_z - p_r - 2 \gamma (2p_r + p_z)]},$$

$$\frac{d\epsilon_{\text{сж}}^p}{dz} = \frac{4 \gamma^3 \sigma_{\text{сж}} \operatorname{tg} \alpha}{(D_0 + 2z \operatorname{tg} \alpha) [p_z - p_r - 2 \gamma (2p_r + p_z)]}, \quad (6)$$

$$p_r = \frac{(1 - 2 \gamma) p_z + \sqrt{3^{2\gamma+1} (1 + 4 \gamma) \sigma_{\text{сж}}^2 - 9 \gamma p_z^2}}{1 + 4 \gamma},$$

где $p_z = -\sigma_z$ — продольное нормальное давление в перпендикулярной к оси стержня плоскости на растяжение z от начала отсчета; $p_r = -\sigma_r$ — боковое давление, D_0 — диаметр изделия.

Для стержня задаются начальные значения p_{z1} , $\epsilon_{\text{сж}1}^p$, v_1 при $z = z_1$, диаграмма деформирования материала стержня. Численным интегрированием системы уравнений (6) определяются величины p_z , $\epsilon_{\text{сж}}^p$, v и p_r в различных сечениях конической части стержня.

Приведем результаты решения числовых примеров волочения через коническую матрицу пористых жестко-пластических труб и стержней при $v_0 = 0,015$; $v_1 = 0(0,035, 0,085; 0,135; 0,185; 0,235)$;

$n = 0$. Были заданы также: для оболочки $\frac{\sigma_{m1}}{\sigma_{\text{сж}}} = 0$; $\frac{r}{r_1} = 1,0$ при $\frac{r}{r_1} = 1,0$

$(1,0 \geq \frac{r}{r_1} \geq 0,5)$; $\alpha = 14^\circ$; $f = 0,1$ ⁽⁴⁾; для стержня $\frac{p_{z1}}{\sigma_{\text{сж}}} = 0$ при $\frac{z}{z_1} =$

$= 1,0 \left(1,0 \geq \frac{z}{z_1} > 0 \right)$; $\alpha = 30^\circ$; $f = 0,05$ ⁽³⁾.

На рис. 1 показаны эпюры изменения меридиональных (штриховые линии) и окружных (штрих — пунктирные линии) напряжений, а также эпюры изменения толщины стенки трубы (сплошные линии). Кривые 1 соответствуют решению задачи при $v_0 = 0$, $v_1 = 0$ и они согласуются с данными ⁽⁴⁾. Кривые 2 получены при $v_0 = 0,015$, $v_1 = 0,235$.

Как видно из рис. 1, при наличии пористости в материале утоньшается стенка протянутой трубы и уменьшаются напряжения формования труб и стержней.

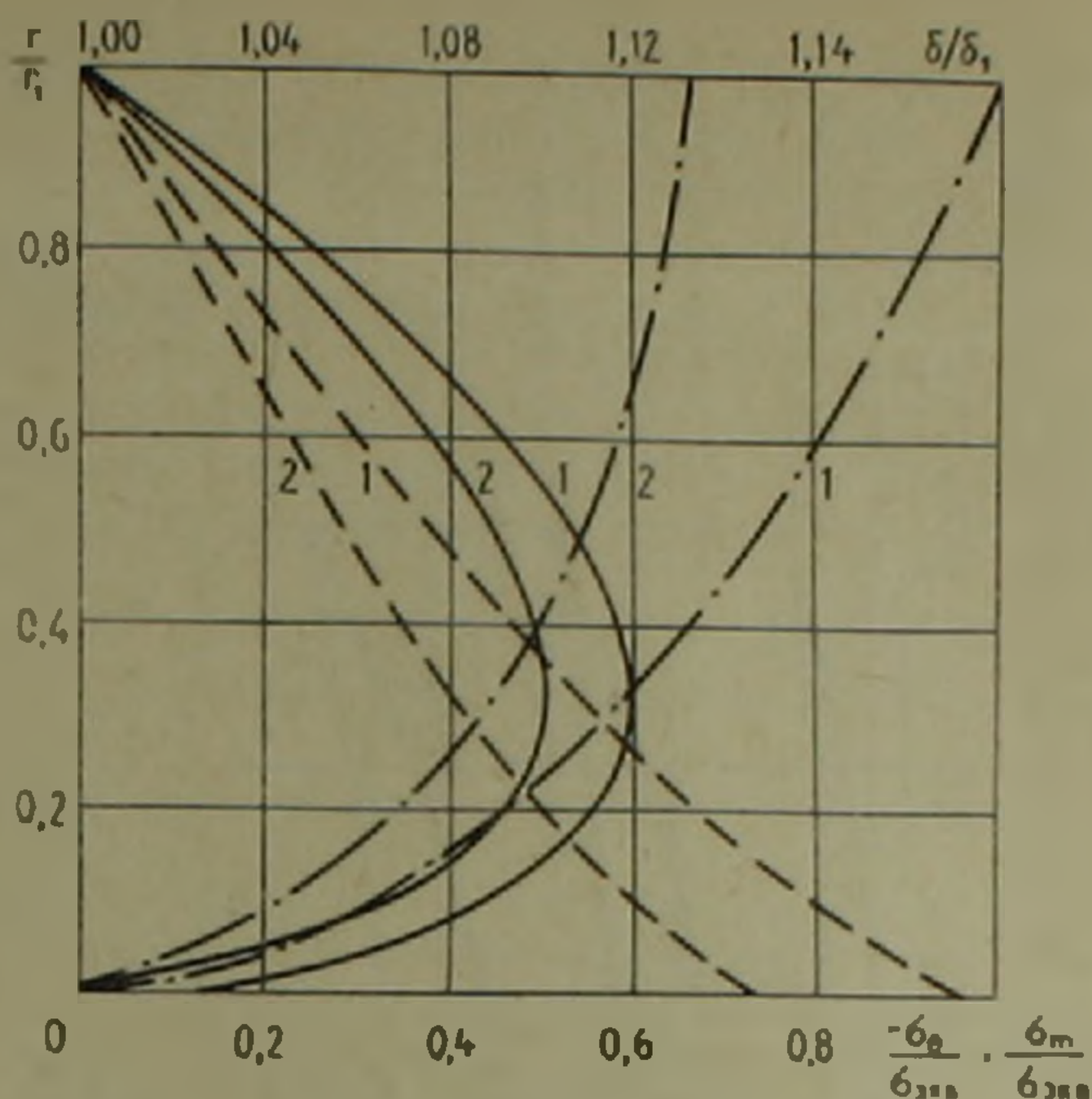


Рис. 1. Эпюры меридиональных (штриховые линии) и окружных (штрих-пунктирные линии) напряжений, а также эпюры толщины стенок (сплошные линии) для случаев волочения безпористых (кривые 1) и пористых труб (кривые 2)

На рис. 2 изображены эпюры изменения пористости по высоте конической части деформированных труб (т) и стержней (с) при различных значениях начальной пористости.

Сопоставление результатов волочения пористых труб и стержней (различные напряженные состояния) при различных обжатиях и рабочих углах канала матрицы показывает, что при более жестких условиях формирования материала (для стержня—большие обжатия, большой рабочий угол наклона) уменьшение пористости происходит быстрее, чем в более мягких условиях формирования материала (труба). Для малых значений пористости (неметаллические включения и технологические поры в обычных материалах) происходит закрытие пор («залечивание»). Для стержней процесс «залечивания» пор более интенсивный. У выхода сечений увеличиваются влияния растягивающих напряжений и снова начинается процесс увеличения пористости.

Таким образом, в зависимости от класса напряженного состояния и величины напряжений, происходит увеличение или уменьшение пористости в материале. Так как с увеличением пористости может произойти разрушение материала ⁽³⁾, то для обработки металлов давлением следует выбрать «благоприятную» схему нагружения, которая «залечивает» поры. Такой схемой является деформация металлов жидкостью высокого давления (гидроформование металлов) ⁽⁶⁾. Известно, что конструкция разрушается от дефекта, когда деформация у дефекта достигается определенной величиной ⁽²⁾, установленной простейшими экспериментами (растяжение образцов, вырезанных из данного мате-

риала). Следовательно, для данного пористого материала, экспериментально определяя новую характеристику—критическое увеличение пористости (КУП), можно будет аналитически формулировать процесс разрушения, т. е. на основании теории пластичности пористых тел прогнозировать условия разрушения реальных технических конструкций.

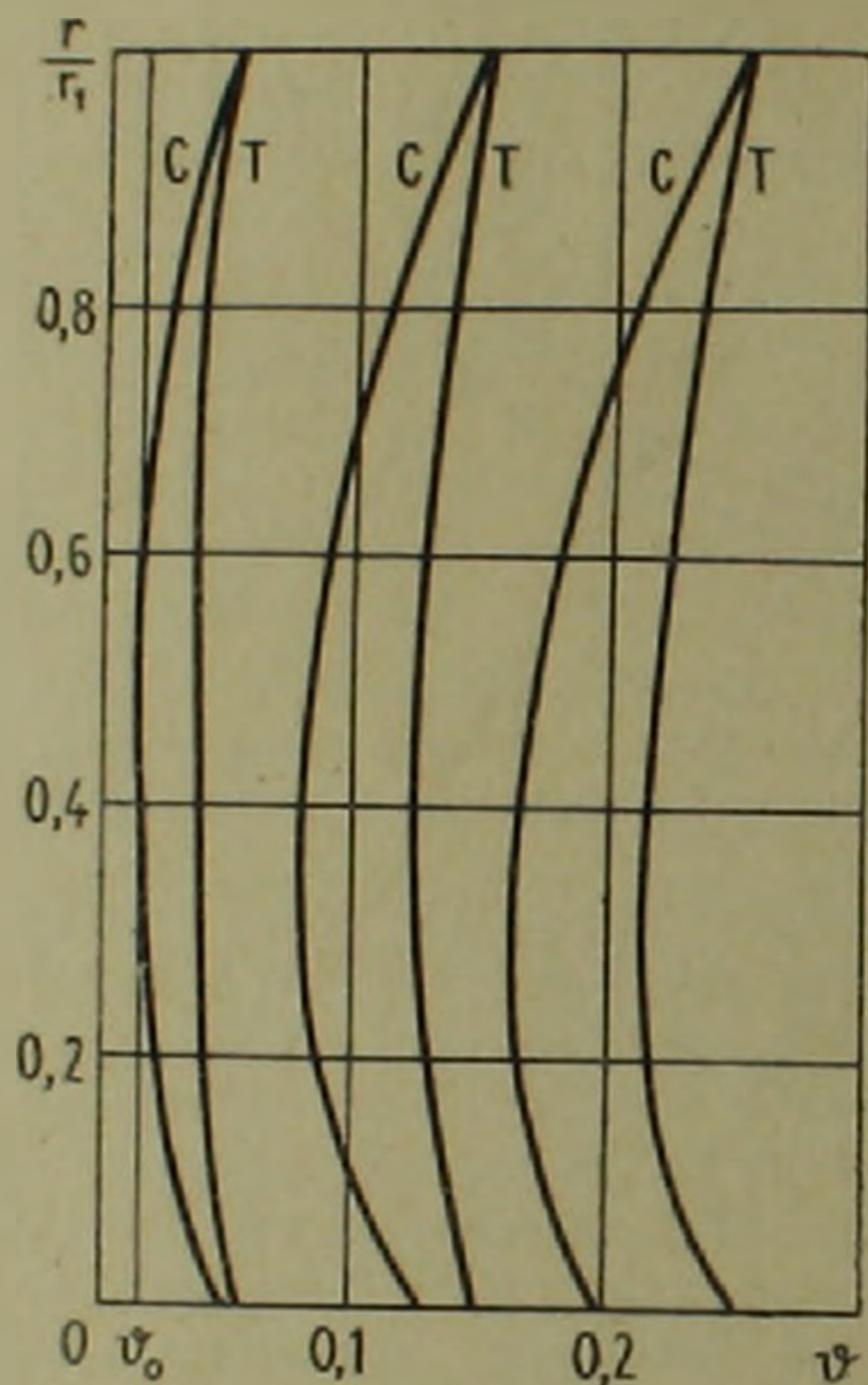


Рис. 2. Эпюры изменения пористости по высоте конической части деформированных труб (Т) и стержней (С) при различных значениях начальной пористости

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса.

Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Ծակոտկեն խողովակների և ձողերի ձևավորումը

Ծակոտկեն մարմինների սլաքստիկության տեսության հիման վրա ուսումնասիրվել է ծակոտկեն նյութից սլաքառաստված ղլանային խողովակների և ձողերի լարվածային ու ղեֆորմացիոն վիճակները, նրանց կոնական կաղապարներում ձևավորման ժամանակ: Հաշվի է առնված սլաքատիկայում օգտագործվող նյութերում գոյություն ունեցող ոչ մետաղական էլեմենտները, որ-

պես ծակոտկենության հաստատուն մեծություններ: Ստացված արդյունքների վերլուծման հիման վրա ցույց է տրված, որ հնարավոր է ընտրել դետայների պատրաստման այնպիսի տեխնոլոգիական պրոցես, երբ նյութի ծակոտկենությունը չի մեծանա, այլ նույնիսկ փակվելով կլավացնի պատրաստվող դետայների որակը: Մյուս կողմից հնարավոր է ունենալով որևէ նյութի համար փորձնական ճանապարհով որոշված ծակոտկենության կրիտիկական մեծացման արժեքը, ծակոտկեն մարմինների պլաստիկության տեսության հիման վրա կանխագուշել այդ նյութից պատրաստված իրական տեխնիկական կոնստրուկցիաների քայքայման պայմանները:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Յ ՈՒ Ն

¹ Р. Дж. Грин, Теория пластичности пористых тел, «Механика», Периодический сборник переводов иностранных статей», № 4, (140). Изд. «Мир», 1971. ² Новые методы оценки сопротивления металлов хрупкому разрушению, Сб. статей. Изд. «Мир», М., 1972. ³ И. Л. Перлин, М. З. Ермаков, Теория волочения. Изд. «Металлургия», М., 1971. ⁴ Н. Н. Малинин, Прикладная теория пластичности и ползучести, Изд. «Машиностроение», М., 1975. ⁵ Г. Л. Петросян, Г. С. Алоян, «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», № 6, 1976. ⁶ В. И. Уральский и др., Деформация металлов жидкостью высокого давления. Изд. «Металлургия», М., 1976.