

УДК 539.374

МЕХАНИКА

Г. Л. Петросян, Г. С. Апоян

Исследование формирования биметаллических круглых стержней
с пористым сердечником, содержащим твердые
неметаллические включения

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 21/II 1977)

Получение абразивного инструмента методом порошковой металлургии является одним из прогрессивных способов. При этом получаемый инструмент обладает высокой стойкостью и режущей способностью. Абразивно-металлические композиции методом порошковой металлургии получают различными способами, в частности формированием в различных пресс-формах (¹).

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния формирующегося биметалла, содержащего твердые неметаллические включения в виде абразивных зерен, в процессе пластического течения через коническую матрицу.

Уравнения равновесия элемента оболочки (рис. 1, а) имеют следующий вид:

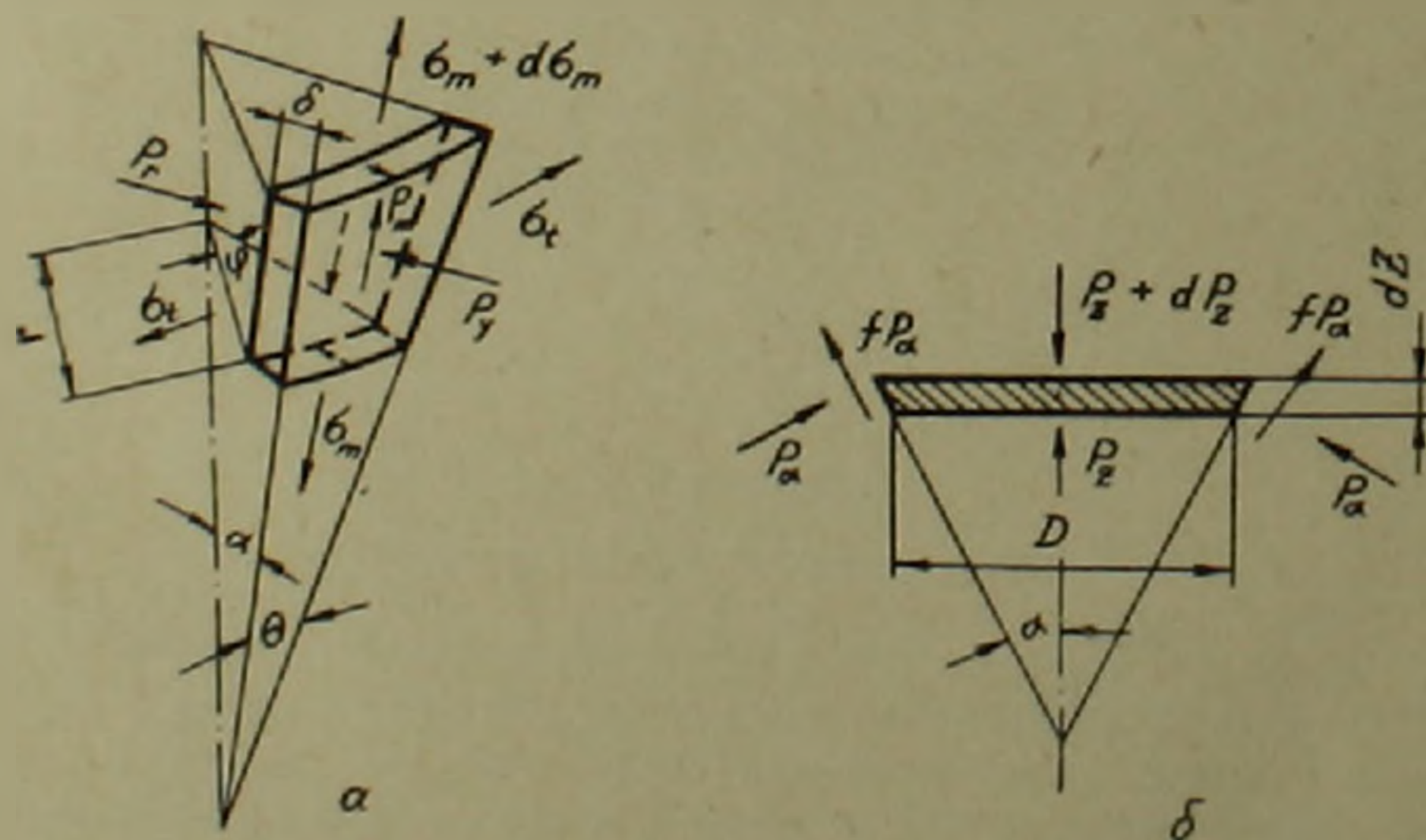


Рис. 1. а—элемент оболочки; б—элемент стержня

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r \delta) - \sigma_t \delta + \frac{\rho_m \delta}{\sin \alpha \cos \alpha} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_t}{\rho_t} = - \frac{\rho_n - \rho_r}{\delta} - \frac{1}{\rho_t} - \frac{\rho_n + \rho_r}{2}, \quad (2)$$

где $\rho_t = r / \cos \alpha$ — радиус кривизны нормального сечения; r — радиус окружности в сечении, перпендикулярном к оси оболочки; δ — толщина оболочки; ρ_m, ρ_n — интенсивности касательных и нормальных сил, возникающих между матрицей и оболочкой; ρ_r — давление стержня на оболочку; σ_m, σ_t — соответственно меридиональное и окружное напряжения; α — угол между осью конической матрицы и ее образующей.

Так как $\rho_m = f \rho_n$, то, решая (1) и (2), получаем

$$r \frac{d\sigma_m}{dr} + \sigma_m + \frac{r}{\delta} \frac{d\delta}{dr} \sigma_m - A \sigma_t - B \rho_r = 0, \quad (3)$$

где

$$A = 1 + \frac{2f\delta}{(\delta \cos \alpha + 2r) \sin \alpha}; \quad B = \frac{f(\delta \cos \alpha - 2r)}{(\delta \cos \alpha + 2r) \sin \alpha \cos \alpha};$$

f — коэффициент трения, который принимается одинаковым в контактных поверхностях оболочки с формирующейся смесью и с матрицей.

Так как $\sigma_m > \sigma_r > \sigma_t$, условие пластичности Треска—Сен-Венана имеет вид:

$$\sigma_t = \sigma_m - \sigma_r, \quad (4)$$

где σ_t — интенсивность напряжений.

Для жестко — пластических тел имеем ⁽²⁾

$$\begin{aligned} d\epsilon_n &= \frac{d\epsilon_t}{2\sigma_t} (2\rho_r - \sigma_m + \sigma_t), \\ d\epsilon_t &= \frac{d\epsilon_t}{2\sigma_t} (2\sigma_t - \sigma_m + \rho_r), \\ d\epsilon_m &= \frac{d\epsilon_t}{2\sigma_t} (2\sigma_m - \sigma_t + \rho_r), \end{aligned} \quad (5)$$

где $d\epsilon_n, d\epsilon_t, d\epsilon_m$ — приращения деформаций соответственно в нормальном, окружном и меридиональном направлениях; $d\epsilon_t$ — интенсивность приращения пластических деформаций.

Учитывая известные соотношения ⁽²⁾

$$d\epsilon_n = \frac{d\delta}{\delta}, \quad d\epsilon_t = \frac{dr}{r} \quad (6)$$

и зависимости (5), имеем

$$\frac{d\delta}{dr} = \frac{\delta(\sigma_t - 2\sigma_m - 2\rho_r)}{r(\sigma_m - 2\sigma_t + \rho_r)}. \quad (7)$$

Решая совместно уравнения (3), (4) и (7), получаем

$$\frac{d\sigma_m}{dr} = \frac{\sigma_m(2\sigma_m - \sigma_i + 2p_r)}{r(\sigma_m - 2\sigma_i + p_r)} - \frac{\sigma_i}{r} + \frac{2f\bar{v}(\sigma_m - \sigma_i)}{(\bar{v}\cos\alpha + 2r)rs\sin\alpha} + \frac{f(\bar{v}\cos\alpha - 2r)p_r}{(\bar{v}\cos\alpha + 2r)rs\sin\alpha \cos\alpha} \quad (8)$$

Используя уравнения (5) и (6), с учетом (4), имеем

$$\frac{d\epsilon_i}{dr} = \frac{2\sigma_i}{r(\sigma_m - 2\sigma_i + p_r)} \quad (9)$$

Напряженно-деформированное состояние биметалла в конической части матрицы исследуется методом тонких сечений⁽³⁾ с применением теории пластичности пористых тел Грина⁽⁴⁾, модифицированной для упрочняющихся материалов⁽⁵⁾.

Уравнение равновесия всех сил, действующих на элемент в виде усеченного конуса высотой dz (рис. 1,б), имеет вид

$$\frac{dp_z}{dz} (D_0 + 2ztg\alpha) = 4tga(p_r - p_z) + 4fp_r, \quad (10)$$

где D_0 — выходной диаметр стержня; $p_z = -\sigma_z$ — продольное нормальное давление на расстоянии z от начала отсчета, которое берется от выходной части матрицы; $p_r = -\sigma_r$ — боковое нормальное давление.

Принимая, что при формовании биметалла радиальные и окружные напряжения равны $\sigma_r = \sigma_i$ ⁽³⁾, согласно⁽³⁾, имеем

$$p_z^2(1+\gamma) - 2p_z p_r (1-2\gamma) + p_r^2(1+4\gamma) = \beta\sigma_{\text{экв}}^2, \quad (11)$$

$$d\epsilon_r^p = \frac{d\epsilon_{\text{экв}}^p}{2\sigma_{\text{экв}}} \left[p_z - p_r - 2\gamma(2p_r + p_z) \right], \quad (12)$$

$$dv = \frac{d\epsilon_{\text{экв}}^p}{2\sigma_{\text{экв}}} \cdot 3\gamma(v-1)(2p_r + p_z), \quad (13)$$

где γ, β — параметры пористости, определяемые по формулам⁽⁴⁾

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

$d\epsilon_{\text{экв}}^p$ — эквивалентное приращение пластических деформаций;

$\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентное напряжение. Принимается, что неметаллические включения в стержне биметалла равномерно распределены и могут рассматриваться как поры постоянного объема, создающие постоянную пористость v_0 . Исходя из этого, параметр пористости v определяется как отношение суммарного объема пор и неметаллических включений к объему образца.

Решая совместно уравнения (10) и (11), получаем:

$$\frac{dp_z}{dr} = 2 \frac{p_z f + (1g^2 + f)(E - 2p_z \gamma)}{r \lg x}, \quad (14)$$

где

$$E = \sqrt{3(1+4\gamma) \sigma_{\text{нв}} - 9\gamma p_z^2}.$$

Из уравнений (6) и (12) имеем:

$$\frac{d\sigma_{\text{нв}}}{dr} = \frac{2\sigma_{\text{нв}}}{r(\gamma p_r - E)}. \quad (15)$$

Исключая из (13) $d\sigma_{\text{нв}}/\sigma_{\text{нв}}$ с учетом (15), находим

$$\frac{dv}{dr} = \frac{6\gamma(1-v)(3p_z + 2E)}{r(1+4\gamma)E}. \quad (16)$$

Таким образом, получена система шести дифференциальных уравнений (7), (8), (9), (14), (15), (16) относительно δ , σ_m , σ_l , p_z , $\sigma_{\text{нв}}$, v . Задавшись начальными условиями (при $r=r_1$) и решив систему дифференциальных уравнений (7), (8), (9), (14), (15), (16), можно определить величины и характер изменения всех параметров формования в конической части матрицы.

На ЭВМ методом Рунге — Кутты решен ряд числовых примеров в двух вариантах с различными значениями начальной пористости $v_{\text{нвпр}} = 0,118$; $v_{\text{нвпр}} = 0,236$ при условии, что, независимо от варианта, составляющая пористости от неметаллических включений $v_0 = 0,1$. При этом использовались следующие значения параметров: $\alpha = 30^\circ$, $f = 0,08$, $r_1 = 12$ мм, $\delta = 2$ мм, $\sigma_l = 457 \text{ кг/см}^2$ (для медной оболочки); $\sigma_{\text{нв}} = \sigma_r = 350$ МПа (для материала сердечника).

Оба варианта решены при следующих значениях продольного нормального давления: $P_{z1} = 300, 250, 200, 150, 100, 50$ МПа. При этом получен ряд схем нагружения (прессование с волочением).

На основании полученных решений, сопоставлением, можно найти наиболее приемлемый вариант для проектирования технологического процесса с учетом имеющихся мощностей. С другой стороны, сопоставление различных схем позволяет определить вариант нагружения, при котором не нарушается совместность деформации оболочки со стержнем.

На рис. 2, для значения $p_{z1} = 200$ МПа, приведены кривые, показывающие изменение напряжений и пористости по высоте в конической части матрицы для $v_{\text{нвпр}} = 0,118$ — сплошная линия, $v_{\text{нвпр}} = 0,236$ — штриховая линия.

Изменением величины p_{z1} можно получить материал с необходимой пористостью, в том числе — беспористый материал. Увеличивая предварительную пористость материала, можно значительно понизить боковое давление, уменьшая износ матрицы.

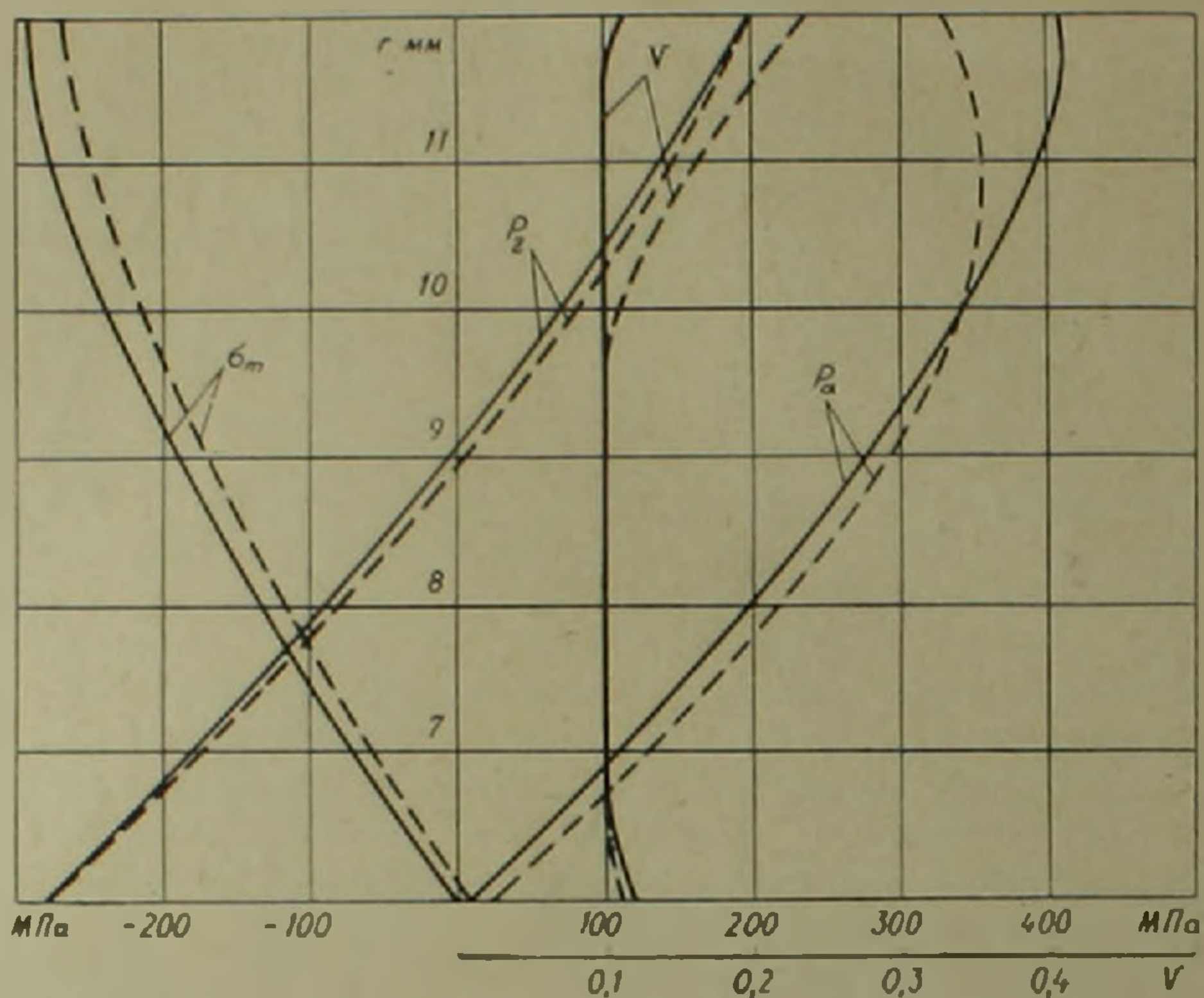


Рис. 2 Кривые изменения напряжений и пористости по высоте конической части матрицы при различных значениях начальной пористости ($v_1 = 0.118$ —сплошные линии; $v_2 = 0.236$ —штриховые линии)

Следовательно, для получения материала определенной пористости, расчетным путем можно прогнозировать оптимальные значения начальной пористости и продольного нормального давления.

Таким образом, теория пластичности пористых тел позволяет учитывать влияние наличия твердых неметаллических включений на процесс формования и исследовать напряженно-деформированное состояние биметалла, содержащего твердые неметаллические включения.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ. Ո. ԱՓՈՅԱՆ

Կարծիք ոչ մետաղական ներխառնուկներ պարունակող ծակոտկեն միջուկով
բիմետաղական կլոր ձողերի ձևավորման հետազոտումը

Ծակոտկեն մարմինների պլաստիկության տեսության հիման վրա հետա-
զոտվել է կարծիք ոչ մետաղական ներխառնուկներ պարունակող ծակոտկեն
միջուկով բիմետաղական կլոր ձողերի լարվածային և դեֆորմացիոն լիճակներ-

րը, կոնական կաղապարներում նրանց ձևափորման ժամանակ, Հաշվի է առնված, որ միտադական ներխառնուկները կարող են հանդիսանալ որպես ծակոտկենության հաստատուն մեծություններ:

Ստացված արդյունքների վերլուծման հիման վրա ցույց է տրված, որ որոշակի ծակոտկենությամբ նյութ ստանալու համար, հաշվային ճանապարհով կարելի է կանխագուշակել նյութի սկզբնական ծակոտկենության և մամլման ճնշման օպտիմալ արժեքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ը Կ Ը Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

¹ Алмазные инструменты в машиностроении. Под редакцией И. Г. Космачева. Лен.-издат, 1965. - Н. И. Малинин. Прикладная теория пластичности и ползучести. Изд. «Машиностроение», М., 1975. ² Э. Томсон и др. Механика пластических деформаций при обработке металлов. Изд. «Машиностроение», М., 1969. ³ Р. Дж. Грин, Теория пластичности пористых тел, «Механика», Периодический сборник переводов иностранных статей, № 4 (140), изд. «Мир», 1973. ⁴ Г. Л. Петросян, «Известия вузов», Машиностроение, № 5, 1977.