

УДК 621.73.011.001.5

Сивак Р. І., докт. техн. наук, доцент
 Богатюк М. О., аспірант
 Веселовська Н.Р., докт. техн. наук, професор
 Савків В.В., аспірант
 Залізник Р.О., аспірант

Вінницький національний аграрний університет, bogatyuk1998@gmail.com

РОЗВИТОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРИСТИХ ТІЛ

При дослідженні процесу пластичної деформації пористих заготовок в якості механічної моделі матеріалу взята модель жорстко-пластичного ізотропно-зміцнювального пористого тіла [1] з поверхнею навантаження, що має форму еліпсоїда з напівосями, які залежать від величини пористості. При цьому інтенсивність напружень в матеріалі основи пористого тіла визначається за формулою

$$\tau_0^2 = \frac{p^2}{f_2(\theta)(1-\theta)} + \frac{\tau^2}{f_1(\theta)(1-\theta)} \quad (1)$$

Із (1) у відповідності з асоційованим законом течії одержані тензорне

$$\dot{\epsilon}_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \dot{\epsilon} = \frac{\dot{\gamma}}{\tau} (\sigma_{ij} - \delta_{ij} p) \quad (2)$$

і скалярне співвідношення

$$p f_1(\theta) \dot{\gamma} = \tau f_2(\theta) \dot{\epsilon} \quad (3)$$

між компонентами тензора напружень σ_{ij} і швидкостями деформацій $\dot{\epsilon}_{ij}$.

В якості міри деформаційного зміцнення пористого тіла прийнята накопичена деформація матеріалу основи [2]:

$$\Gamma_0 = \int_0^t \dot{\gamma}_0(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Функції пористості $f_1(\theta)$ і $f_2(\theta)$, а також криву течії $\tau_0(\Gamma_0)$ для матеріалу основи визначено [3]:

$$f_1(\theta) = (1-\theta)^{3.5}, \quad (5)$$

$$f_2(\theta) = 0.549 \frac{(1-\theta)^{4.36}}{\theta^{0.86}} \quad (6)$$

$$\tau_0 = -15 + 83.73 \Gamma_0^{0.186} \quad (7)$$

Із (1) і (3) одержані формули зв'язку кінематичних і статичних величин, які використовуються при розрахунках інтенсивності девіатора напружень та середнього напруження в пористому тілі [2]:

$$\tau = \tau_0 f_1(\theta) \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \quad (8)$$

$$p = \tau_0 f_2(\theta) \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\gamma}_0} \quad (9)$$

Із співвідношень (1) – (9) витікає, що для визначення напружено-деформованого стану пористого тіла по деформованій координатній сітці, необхідно визначити [4]:

- 1) Поле компонент швидкостей течії частинок тіла v_i ;
- 2) Поле компонент швидкостей деформацій

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right); \quad (10)$$

- 3) Поле накопиченої деформації матеріалу основи Γ_0 ;
- 4) Поле інтенсивності девіатора напружень (границі текучості) матеріалу основи τ_0 ;
- 5) Поле пористості θ в пластичній області;
- 6) Поле компонент девіатора напружень S_{ij} і тензора напружень σ_{ij} .

Тобто достовірна оцінка напружено-деформованого стану залежить від методів обробки експериментальних даних. Пропонується для побудови апроксимацій координат вузлів ділильної сітки $z_0(z,r)$, $r_0(z,r)$ експериментально одержаних функцій ейлерових координат від лагранжевих $\bar{z}_{0,l,m}$, $\bar{r}_{0,l,m}$ використовувати методику, основу на методах теорії R-функцій [5], яка була успішно використана для досліджень напружено-деформованого стану безпористих матеріалів. До основних переваг цього методу відносяться можливість одержати розв'язки, які тотожно задовольняють граничним умовам для областей з складною конфігурацією границь.

Після підстановки розв'язків одержаних систем рівнянь отримуються апроксимації z_0 і r_0 . Потім визначаються швидкості течії частинок матеріалу v_z , v_r для стаціонарного деформування, швидкості деформацій та інтенсивності швидкостей деформацій $\dot{\gamma}_0$ і $\dot{\gamma}$.

Враховуючи отримані співвідношення для розрахунку розподілу пористості по перерізу одержана формула:

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0) \left(\frac{\partial Z_0}{\partial Z} \frac{\partial \alpha_0}{\partial r} - \frac{\partial Z_0}{\partial r} \frac{\partial \alpha_0}{\partial Z} \right) \frac{r_0}{r}. \quad (11)$$

Список посилань

1. Shtern, M. B., Mikhailov, O. V., Mikhailov, A. O. Generalized Continuum Model of Plasticity of Powder and Porous Materials. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis link is disabled*, 2021, 60(1-2), pp. 20–34. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00211-7>.
2. Sivas I.O. The evaluation of Deformability of the Porous Bodeis// *The Bulletin of Politehnic Institute of Jassi*. - 1996. - XLII(XLVI), N3 - 4. - P. 607 - 611.
3. Sivak, R., Kulykivskyi, V., Savchenko, V., Minenko, S., & Borovskyi V. (2023). Determination of porosity functions in the pressure treatment of iron-based powder materials in agricultural engineering. *Scientific Horizons*, 26(3), 124-134. DOI: 10.48077/scihor3.2023.124.
4. Beygelzimer, Y., Estrin, Y., Filippov, A., Baretzky, B., & Kulagin, R. (2022). Simulation of layered structure instability under high-pressure torsion. *Materials Letters*, 324, 132689. doi: 10.1016/j.matlet.2022.132689.
5. V. D. Pokras, M. A. Rvachev. Application of the R-functions method to viscoplastic analysis in metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 60, Issues 1–4, 15 June 1996, Pages 493-500.
6. Gogaev, K. A., Voropaev, V. S., Podrezov, Y. N., Koval, A. Y., Yevych, Y. I. Mechanical and fatigue properties of powder titanium strips, obtained by asymmetric rolling. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis link is disabled*, 2017, 56(1-2), pp. 69–77. <https://doi.org/10.1007/s11106-017-9871-y>.