

ОЦІНКА ДЕФОРМОВАНOSTІ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ПРИ ВАЛЬЦЮВАННІ ЗА СХЕМАМИ В ДВА І БІЛЬШЕ ПЕРЕХОДІВ

¹Вінницький національний аграрний університет,

²Вінницький національний технічний університет

Анотація

Для оцінки деформованості матеріалу заготовок при вальцюванні застосовано тензорну модель накопичення пошкоджень, що враховує напрям деформування та вид напруженого стану. Модель деформування подано у вигляді суми чотирьох окремих ланок. Представлено результати моделювання закономірностей накопичення пошкоджень на перших двох ланках.

Ключові слова: накопичена пластична деформація, гранична деформація до руйнування, тензорна модель накопичення пошкоджень, вид напруженого стану, напрямний тензор приростів деформацій.

Abstract

The tensor model of damage accumulation was applied to the evaluation of the deformability of the material of the workpieces during forge rolling. This model takes into account the direction of deformation and the stress-state mode. The deformation model is represented as the sum of four separate components. The results of modeling the patterns of damage accumulation on the first two stages are presented.

Keywords: accumulated plastic strains, ultimate plastic strains, tensor model of damage accumulation, stress-state mode, strains incremental direction tensor.

Вступ

Розвитку процесів холодного вальцювання перешкоджає недостатність інформації про механіку формоутворення криволінійних заготовок, НДС і деформованість їх матеріалу [1].

У результаті дослідження механіки формоутворення заготовок при вальцюванні нами розроблено спосіб виготовлення криволінійних заготовок двоетапним вальцюванням. Відповідно способу, вальцювання на першому етапі здійснюється на гладку бочку конічними валками, а на другому етапі проводиться вальцювання заготовки в калібрах циліндричних валків. При цьому на другому етапі заготовка повертається на 90° і вальцюється в калібрах циліндричних валків.

При виготовленні криволінійних заготовок холодним вальцюванням особливо актуальним постає питання оцінки деформованості матеріалу заготовок, а отже встановлення граничної степені обтискування та механічних характеристик матеріалу виготовлюваних виробів. Очевидно, що зі зміною етапів вальцювання немонотонно змінюється НДС часток матеріалу заготовки, що вносить додаткові труднощі в процес оцінки деформованості матеріалу.

Мета роботи полягає в оцінці деформованості матеріалу заготовок при вальцюванні за схемами в два і більше переходів.

Результати дослідження

Шляхом експериментально-аналітичних досліджень та використання імітаційного моделювання в програмному комплексі DEFORM 3D [2] встановлено, що частки матеріалу вільної поверхні заготовки, зміна НДС яких на першому етапі характеризується зміною показника напруженого стану від величин $\eta = -1$, на початку деформування, до величин $\eta = +1$ наприкінці вальцювання, на другому етапі деформуватимуться за схемою НДС, якій відповідає шлях деформування, що може бути представлений лінійним рівнянням

$$\bar{\varepsilon} = -0,071\eta + 0,5117, \quad (1)$$

де $\bar{\varepsilon}$ - накопичена деформація; η - показник напруженого стану

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_m}{\sigma_v}, \quad (2)$$

σ_m - гідростатичне напруження; σ_v - еквівалентне напруження Мізеса.

Ті частки матеріалу, що на першому етапі деформувалися при «м'яких» схемах НДС, на другому етапі підлягатимуть «жорстким» умовам деформування. При цьому спостерігається немонотонне деформування і для оцінки деформованості необхідно використовувати моделі, що враховують направлений характер накопичення пошкоджень та їх залежність від виду напруженого стану. До таких моделей відносяться тензорні моделі [3].

Незважаючи на простоту співвідношення (1), спроба застосування тензорної моделі для описання процесу зміни НДС матеріалу, що приводить до вказаного шляху деформування, показала необхідність прийняття низки допущень для отримання однозначних результатів.

Представимо модель деформування певних часток матеріалу заготовки у вигляді процесу деформування, що складається з чотирьох окремих ланок. Для цього випадку із застосуванням тензорно-лінійної моделі отримаємо

$$\psi_{ij}((\bar{\varepsilon})_k) = n \cdot \sum_{k=1}^4 \int_{(\bar{\varepsilon})_{k-1}}^{(\bar{\varepsilon})_k} \frac{\bar{\varepsilon}^{n-1}}{\bar{\varepsilon}_{fs}^n [\eta(\bar{\varepsilon})]} \cdot \beta_{ij}(\bar{\varepsilon}) \cdot d\bar{\varepsilon}, (\bar{\varepsilon})_{k-1}, (\bar{\varepsilon})_k \quad (3)$$

де $\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta)$ - крива граничних деформацій при стаціонарному деформуванні; $(\bar{\varepsilon})_{k-1}, (\bar{\varepsilon})_k$ - величина накопиченої деформації відповідно на початку та в кінці k -ої ланки деформування $((\bar{\varepsilon})_0 = 0, (\bar{\varepsilon})_k < \bar{\varepsilon}_f)$; β_{ij} - напрямний тензор приростів деформацій

$$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{d\varepsilon_{ij}}{d\bar{\varepsilon}}, \quad (4)$$

$d\varepsilon_{ij}$ - компоненти тензора приростів пластичних деформацій; $d\bar{\varepsilon}$ - інтенсивність приростів пластичних деформацій; $n > 0$ - матеріальна константа.

Надалі вважатимемо, що властивості матеріалу заготовки описуються визначальними співвідношеннями теорії течії

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\bar{\varepsilon}}{\sigma_u} \cdot s_{ij} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\bar{\varepsilon}}{\sigma_u} \cdot (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \cdot \sigma), \quad (5)$$

де σ_{ij}, s_{ij} - компоненти тензора та девіатора напружень відповідно; δ_{ij} - символ Кронекера

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j, \\ 0, i \neq j. \end{cases} \quad (6)$$

У цьому випадку компоненти напрямних тензорів приростів деформацій (4) та напружень

$$\beta_{ij}^{(\sigma)} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{s_{ij}}{\sigma_v}, \quad (7)$$

співпадають [4, 5].

Для часток матеріалу заготовки, що належали вільній поверхні заготовки під час деформування на першій ланці, розглянуто кожну із чотирьох ланок окремо.

Ланка 1 - напружений стан одноосового розтягу.

У цьому випадку відповідно до [3, 5]

$$\beta_{ij}(\bar{\varepsilon}) = \beta_{ij}^{(1)} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{6}}{3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\sqrt{6}}{6} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\sqrt{6}}{6} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Ланка 2 - напружений стан одноосового розтягу з крученням:

$$\beta_{ij}(\bar{\varepsilon}) = \beta_{ij}^{(2)}(\bar{\varepsilon}) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \begin{bmatrix} \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot \eta(\bar{\varepsilon}) & \sqrt{1 - \eta^2(\bar{\varepsilon})} & 0 \\ \sqrt{1 - \eta^2(\bar{\varepsilon})} & -\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \eta(\bar{\varepsilon}) & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \eta(\bar{\varepsilon}) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Ланка 3 - напружений стан одноосового стиску з крученням. Ланка 4 - напружений стан одноосового стиску + всебічний рівномірний стиск.

Стосовно деформування на другій ланці одна з головних компонент девіатора напружень має вигляд

$$\psi_{11}(\bar{\varepsilon}) = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \left[\left(\frac{\bar{\varepsilon}(\eta=1)}{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1)} \right)^n + n \cdot \int_{\bar{\varepsilon}(\eta=1)}^{\bar{\varepsilon}} \frac{\bar{\varepsilon}^{n-1}}{\bar{\varepsilon}_{fs}^n[\eta(\bar{\varepsilon})]} \cdot \eta(\bar{\varepsilon}) \cdot d\bar{\varepsilon} \right]. \quad (10)$$

Криву граничних деформацій при стаціонарному деформуванні представлено апроксимацією [6]

$$\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta) = \bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=0) \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1)}{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)} \right)^{\frac{\eta}{2}} \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1) \cdot \bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)}{\bar{\varepsilon}_{fs}^2(\eta=0)} \right)^{\frac{\eta^2}{2}}. \quad (11)$$

Аналогічним чином визначено інші компоненти девіатора пошкоджень.

Всі обчислення здійснювали за допомогою власноруч розробленої програми в середовищі системи комп'ютерної математики Maple. Результати розрахунків представлено на рис. 1.

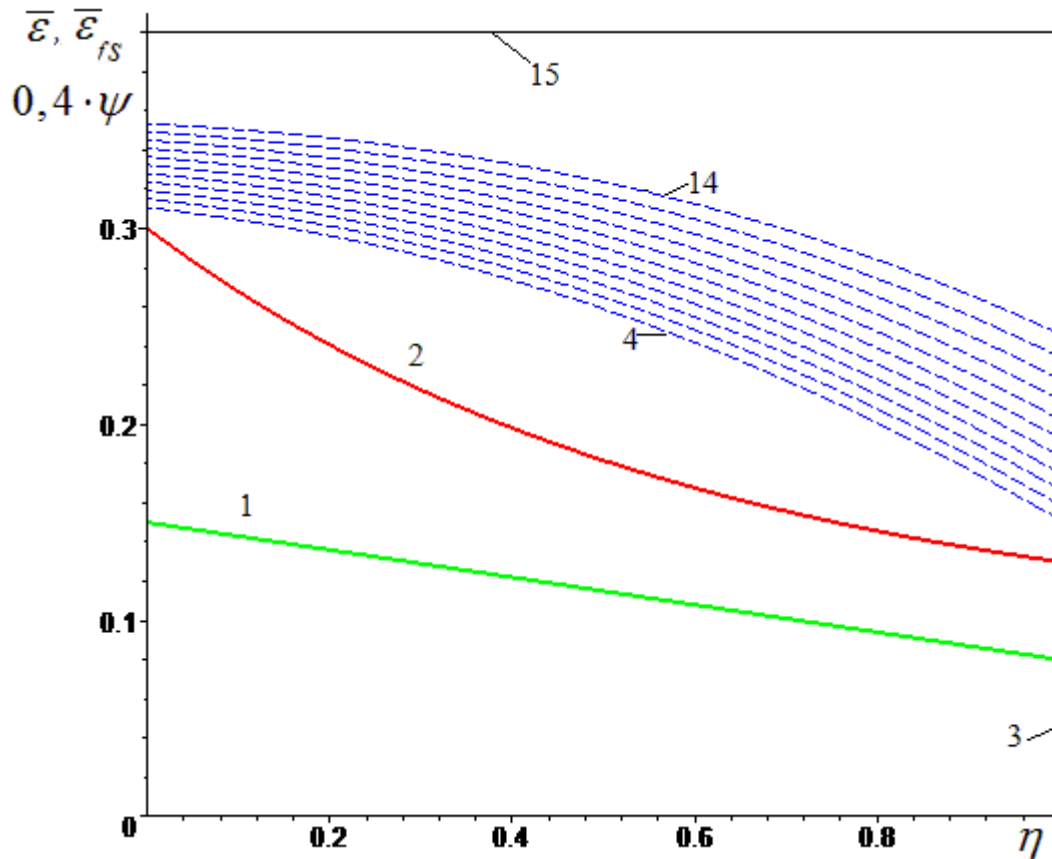


Рис. 1. Шлях деформування (1 – розрахунок за (1)); крива граничних деформацій при стаціонарному деформуванні (2 – розрахунок за (11)); 3 - накопичення пошкоджень на ланці 1; 4÷14 – накопичення пошкоджень на ланці 2; 15 - масштабоване граничне значення інтенсивності пошкоджень.

Розрахунки здійснювали для кривої граничних деформацій при стаціонарному деформуванні, що має місце для сталі ЭП866 [7].

На рис. 2 закономірності накопичення пошкоджень представлено в залежності від величини накопиченої деформації.

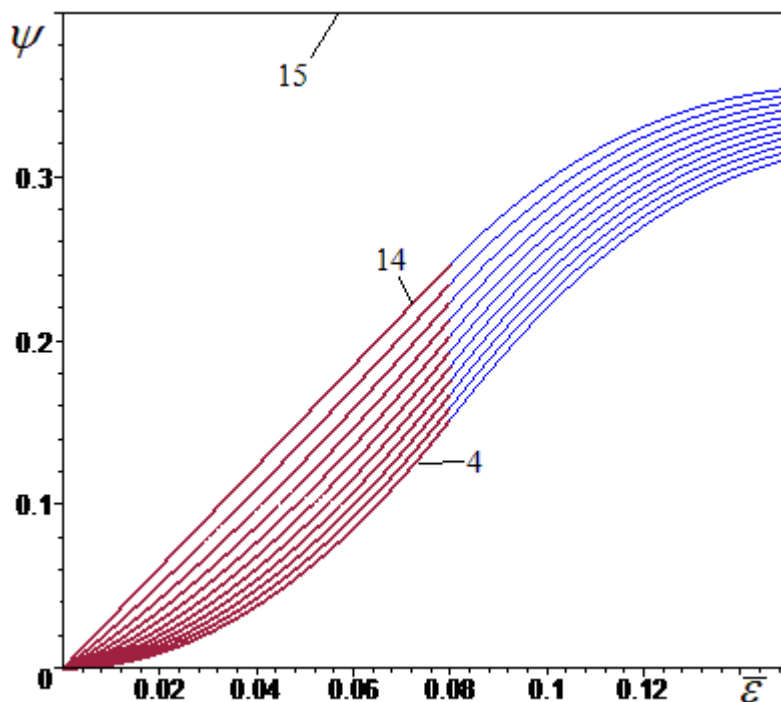


Рис. 2. Накопичення пошкоджень з ростом накопиченої деформації під час деформування на першій (товсті лінії) та другій (тонкі лінії) ланках; номери кривих такі ж самі, як і на рис. 1.

Висновки

Для досліджуваних траєкторій, відповідно тензорній теорії накопичення пошкоджень, найбільш жорсткий прогноз граничних деформацій відповідає лінійному принципу накопичення пошкоджень. Збільшенню параметра n , що характеризує збільшення нелінійного характеру накопичення пошкоджень, відповідає зменшення швидкості накопичення пошкоджень на початковій стадії першої ланки. А з подальшим ростом накопиченої деформації швидкість накопичення пошкоджень стає практично інваріантною до параметра n .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук В.А. Розвиток процесів холодного вальцювання криволінійних заготовок із алюмінієвих сплавів / В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти». – Київ – Херсон НТУУ «КПІ» ММІ, 2016 С. 26 – 29.
2. Матвійчук В. А. Оцінка деформованості матеріалу криволінійних заготовок при холодному вальцюванні / В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця: ВНАУ. – 2017. - №4 (99). – С. 92-96.
3. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич / Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1998 - 195 с.
4. Mikhalevich V. M. Plasticity with cyclic hot working / V. M. Mikhalevich // Strength of Materials. - 1994, 26 (6) , pp. 407-412.

5. Mikhalevich V. M. Tensor models of rupture strength. Report no. 1. Steade loading of initially isotropic and anisotropic bodies / V. M. Mikhalevich // Strength of Materials. - 1995, 27 (8) , pp. 482-492.
6. Михалевич В. М. Аппроксимация кривых предельной деформации сплайн-функциями / В. М. Михалевич, Л. И. Алиева // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. — Краматорск : ДГМА. — 2010. — №3(24). — С. 3—10.
7. Матвийчук В .А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. — Краматорск: ДГМА, 2009. — 268 с. ISBN 978-966-379-317-7.

Віктор Андрійович Матвійчук — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: yamatv50@gmail.com;

Володимир Маркусович Михалевич — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vmykhal@gmail.com

Бубновська Ірина Анатоліївна — асистент кафедри електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: bia@vsau.vin.ua

Matviichuk Viktor A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Department of Electrical Engineering Systems, Technologies and Automation in AIC, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, yamatv50@gmail.com

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vmykhal@gmail.com.

Bubnovska Iryna — assistant professor of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: bia@vsau.vin.ua.