

# МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИ ВІСЕСИМЕТРИЧНОМУ ПЛАСТИЧНОМУ ФОРМОЗМІНЮВАННІ НА ОСНОВІ КАРТИ МАТЕРІАЛУ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Отримано залежності перерахунку компонентів тензора напружень, контактних напружень для матеріалів з подібною реологією для процесу редукування заготовки при вісесиметричному пластичному формозмінюванні на основі карти матеріалу

**Ключові слова:** моделювання, напружений стан, вісесиметричний процес, карта матеріалу.

## Abstract

The dependences of the recalculation of the stress tensor components, contact stresses for materials with a similar rheology for the process of workpiece reduction with axisymmetric plastic deformation based on the material chart are obtained.

*Key words:* modeling, stress state, axisymmetric process, material chart.

**Keywords:** stress indicator, plasticity diagram, phenomenological approach.

## Вступ

В світі існує тенденція на зменшення затрат людських та енергетичних ресурсів в процесах формозміни шляхом поглибленого аналізу результатів моделювання конкретних процесів. Це дає можливість уникати формування бракувальних ознак, збільшити ресурс інструменту, покращити якісні характеристики готового виробу. Так, на сьогодні залишається маловивчене питання механіки процесу прямого видавлювання (редукування) на ділянках, де процес деформації є неусталеним, що особливо важливо при обробці заготовок з співвідношенням довжини до діаметра 2..5 [1]. Такі заготовки, для прикладу, на основі порошкових матеріалів системи вольфрам-нікель-залізо, використовуються в виробі спеціального призначення [2]. В роботі [3], на основі методу скінченних елементів, наведені результати дослідження напруженого стану в процесі редукування у вигляді епюр головних напружень, інтенсивності напружень при змінних значеннях величини відносного обтиску та кута нахилу робочого інструменту. Залежності максимальних головних нормальних напружень від величини відносного обтиску на прикладі вісесиметричного процесу редукування наведені в роботі [2], проте ці результати стосуються лише розрахунків для порошкового сплаву W-Ni-Fe, з дослідженою реологією.

**Метою роботи** є моделювання напруженого стану на основі даних розрахунків напружено-деформованого стану в вісесиметричному процесі редукування та карти реологічно подібних матеріалів до сплаву W-Ni-Fe.

## Результати дослідження

Властивості сплаву W-Ni-Fe у вигляді кривої течії описуються з високою точністю залежністю:

$$\sigma_i = A\varepsilon_i^n = 1730\varepsilon_i^{0,259}, \text{ (МПа)}. \quad (1)$$

Відповідно до роботи [2] побудована крива текучості (рис. 3), яка апроксимована за допомогою двопараметричної залежності П. Людвіга:

$$\sigma_i = A\varepsilon_i^n, \quad (2)$$

де  $\sigma_i$  – інтенсивність напружень,  $\mathcal{E}_i$  – інтенсивність деформацій,  $A$  та  $n$  – коефіцієнти апроксимації.

В результаті статистичної обробки результатів отримані коефіцієнти апроксимації для сплаву W-Ni-Fe (W – 89%, Ni – 7,5%, Fe – 3,5%):  $A = 1731,6 \pm 9$  МПа;  $n = 0,259 \pm 0,004$ .

Поширення наявних результатів дослідження напруженого стану для матеріалів з іншими механічними (реологічними) властивостями представляє в низці випадків науково-практичний інтерес. При цьому використання отриманих раніше результатів досліджень напруженого стану, енергосилових характеристик в чисельному вигляді для конкретного процесу дозволяє не моделювати процес знову, а отримувати аналогічні характеристики для довільного реологічно-подібного матеріалу. Згідно з загальною теорією визначення напружень в тензорному вигляді здійснюється за допомогою [4]:

$$\sigma_{jj} - \sigma_0 = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{e_i} e_{jj}, \quad (3)$$

$$\tau_{jk} = \frac{1}{3} \frac{\sigma_i}{e_i} \gamma_{jk}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{jj}$  – нормальні складові напруженого стану в точці;  $\sigma_0$  – середнє нормальне напруження в точці;  $\tau_{jk}$  – дотичні складові напруженого стану в точці;  $e_{jj}, \gamma_{jk}$  – складові деформованого стану в точці.

Вивчення особливостей процесу редукування на основі матеріалу W-Ni-Fe дає можливість забезпечити реалізацію процесу з необхідними якісними характеристиками виробу. Для більш широкого використання даних досліджень варто використати підходи роботи [2], згідно з якими, моделювання деформування заготовок з матеріалів з подібною реологією повторного моделювання не потребують. Це може здійснюватись за зазначеними вище залежностями формували перерахунку (7), (8). Для випадку вісесиметричного процесу редукування із врахуванням карти матеріалу, зокрема, апроксимації (1), набувають вигляду:

$$\sigma'_{cp} = \sigma_{cp} \frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_{cp} \frac{A'}{1730^{3,861n'}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (5)$$

$$\sigma'_\varphi = \sigma_\varphi \frac{A'}{1730^{3,861n'}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (6)$$

$$\sigma'_z = \sigma_z \frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_z \frac{A'}{1730^{3,861n'}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (7)$$

$$\sigma'_r = \sigma_r \frac{A'}{1730^{3,861n'}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (8)$$

$$\tau'_{rz} = \tau'_{zr} = \tau_{rz} \frac{A'}{1730^{(3,861n')}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (9)$$

$$\sigma'_n = \sigma_n \frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_n \frac{A'}{1730^{(3,861n')}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (10)$$

$$\tau'_n = \tau_n \frac{A'}{1730^{(3,861n')}} \sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (11)$$

$$\tau_{\rho\theta} = \tau_{\theta\rho} = \tau_{z\theta} = \tau_{\theta z} = 0, \quad (12)$$

де,  $\sigma_i (\sigma'_i)$ - інтенсивність напружень модельного (натурного) матеріалу,  $\varepsilon_i$  - інтенсивність деформацій,  $A'$  та  $n'$  – коефіцієнти апроксимації для натурного матеріалу,  $\sigma_{cp} (\sigma'_{cp})$ - середнє напруження модельного (натурного) матеріалу,  $\sigma_\varphi (\sigma'_\varphi)$ - нормальні тангенціальні напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу,  $\sigma_z (\sigma'_z)$ - нормальні осьові напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу,  $\sigma_r (\sigma'_r)$ - нормальні радіальні напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу,  $\tau'_{rz}, \tau'_{zr}, \tau_{rz}$  - відповідно дотичні напруження для модельного та натурного матеріалу,  $\sigma_n (\sigma'_n)$ - нормальні контактні напруження модельного (натурного) матеріалу,  $\tau_n (\tau'_n)$ - дотичні контактні напруження для модельного (натурного) матеріалу,  $\tau_{\rho\theta}, \tau_{\theta\rho}, \tau_{z\theta}, \tau_{\theta z}$  - дотичні напруження в циліндричній системі координат.

Залежності (5)-(12) отримано на основі апроксимації (1), проте за наявності інших даних з напруженого стану для конкретного матеріалу з відомою кривою течії (3) ці формули не змінюють своєї структури, тому можуть бути використані за основу для моделювання будь-якого вісесиметричного процесу пластичного деформування з відповідною заміною апроксимувальних коефіцієнтів.

### Висновки

Отримано залежності перерахунку компонентів тензора напружень, контактних напружень для матеріалів з подібною реологією, що розширює область застосування отриманих результатів для розрахунку технологічних параметрів на прикладі процесу редукування заготовки з різних конструкційних матеріалів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайдес С.А., Исаев А.Н. Технологическая механика осесимметрического деформирования. Монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ 2007, - 432с.
2. Грушко О.В. Механічні характеристики сплавів системи W-NI-FE / Грушко О.В., Гуцалюк О.В., Андрєєв І.В., Мельниченко В.В., Студенець С.Ф.; - Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України: Фізико-хімічна механіка матеріалів, 2018. – 143с.
3. Грушко О.В. Моделювання процесу редукування циліндричних заготовок з визначенням основних параметрів деформованого стану/ О. В. Грушко, О. В. Гуцалюк// Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, – 2016. – № 1(42). – С. 57–62.
4. Грушко А. В. Метод эквивалентной оценки энергосиловых параметров процессов пластического формоизменения / А. В. Грушко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 47. – С. 14–23.

**Грушко Олександр Володимирович** — завідувач кафедри ОМПП, доктор технічних наук, професор, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: [grushko1alex@gmail.com](mailto:grushko1alex@gmail.com).

**Hrushko Oleksandr** — Head of Department of Materials Strength and Applied Mechanics, Doctor of Technical Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [grushko1alex@gmail.com](mailto:grushko1alex@gmail.com).