

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ РЕВЕРСИВНИХ СПОСОБАХ ПЛАСТИЧНОГО ФОРМОЗМІНЕННЯ

Вінницький національний аграрний університет

Анотація

Проведено оцінку напружено-деформованого стану при знакозмінній пластичній обробці металу, яка реалізується шляхом реверсного руху інструменту. Виконано дослідження особливостей кінематики деформування при немонотонній пластичній деформації, як одного із етапів при отриманні достовірної інформації про напружено-деформований стан.

Ключові слова: немонотонна пластична деформація, метод координатних сіток, компоненти тензора швидкостей деформацій.

Аналіз напружено-деформованого стану при обробці металу по реверсним схемам пластичного деформування з метою дослідження кінематики деформування при немонотонній пластичній деформації показав, що суттєвої відмінності в результатах при використанні методу координатних сіток та методу скінчених елементів немає. І в цілому це дозволило зробити висновок, що моделювання методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу DEFORM відповідає реальній поведінці металу і його можна застосовувати для подальших досліджень [1].

Для визначення компонент тензора швидкостей деформацій $\dot{\epsilon}_{ij}$, можна використовувати експериментально-розрахунковий метод координатних сіток або метод скінчених елементів. При дослідженні нестационарного процесу пластичної формозміни з використанням методу координатних сіток процес деформування розбивається на низку етапів, на кожному з яких, заміряються координати вузлів деформованої сітки, нанесеної на меридіональний переріз заготовки. Значення координат вузлів деформованої сітки представляються таблично у вигляді масивів поточних (ейлерових) координат z, r від початкових (лагранжевих) координат z_0, r_0 і часу (номера етапу деформування).

Компоненти тензора швидкостей деформацій визначаються по викривленню координатної сітки, нанесеної на меридіональний переріз за формулами [2, 3, 4]

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_r &= \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} - \frac{\partial}{\partial r_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial t} \right], \quad \dot{\epsilon}_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial t}, \\ \dot{\epsilon}_z &= \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} - \frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} \right] \\ \dot{\gamma}_{rz} &= \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial t} + \frac{\partial z}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial t} - \frac{\partial z}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} \right].\end{aligned}\tag{1}$$

Експериментальні дані у вигляді таблично заданих функцій поточних (ейлерових) координат і початкових (лагранжевих) використовують для отримання функцій ейлерових координат від лагранжевих $z(z_0, r_0, t)$ і $r(z_0, r_0, t)$ шляхом апроксимації експериментальних даних кубічними сплайнами. Для оцінки якості апроксимації у цьому випадку застосовується функціонал [5]

$$I_1(S) = \int_{x_1}^{x_N} |S''(x)|^2 dx + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\rho_i} (f_i - S(x_i))^2,\tag{2}$$

де f_i - значення функції, що згладжується у вузлі,

$\rho_i \geq 0$ - ваговий коефіцієнт,
 x_1 і x_N - границі області визначення функції $f(x)$.

Для одержання апроксимації експериментальних даних, що мають найменше відхилення від умови нестисливості

$$\frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial z}{\partial z_0} - \frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial z}{\partial r_0} = \frac{r_0}{r} \quad (3)$$

використовується ітераційний вибір вагових коефіцієнтів сплайна. Початкове наближення будується з нульовими ваговими коефіцієнтами сплайна $\rho_0^{ij} = 0$. Потім реалізується ітераційний процес

$$\rho_{k+1}^{ij} = \left(\frac{\delta_{Dk}^{ij}}{\delta_k} \right)^2 \rho, \quad (4)$$

де δ_D – базова похибка виконання умови нестисливості, яку приймали рівною 0,05,
 ρ - базовий коефіцієнт згладжування (в результаті чисельних експериментів встановлено, що найменша середня похибка досягається при $\rho = 0.1 \dots 0.01$),
 k – номер ітерації.

В i, j - ому вузлі точність виконання умови (3) визначається за виразом

$$\delta_D^{ij} = \left[\frac{r}{r_0} \left(\frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial z}{\partial z_0} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial z}{\partial r_0} \right) - 1 \right]. \quad (5)$$

Після апроксимації експериментальної інформації тим чи іншим способом отримані функції використовуються у співвідношеннях (1) для розрахунку компонент тензора швидкостей деформацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирошніченко С. В., Анализ сложного напряженно-деформированного состояния металла, возникающего при воздействии интенсивного пластического деформирования методом реверсивной закрытой прошивки / С. В. Мирошніченко, В. Н. Варюхин / Физика и техника высоких давлений. – 2017. - том 27, № 3. – С. 5-17.
2. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселёв, И. О. Сивак. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 204 с.
3. Сивак Р. І. Визначення компонент тензора напружень при немонотонній пластичній деформації / Р. І. Сивак, В. А. Огородников, І. О. Сивак // Вісник машинобудування та транспорту. – 2015. - №1. – С. 111-119.
4. R. Sivak, "Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/7 (90), p. 34-41, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.115040.
5. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошніченко. - М.: Наука, 1980. – 352 с.

Сивак Роман Іванович, д. т. н., доцент, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Залізняк Роман Олександрович, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, pacifistroma@gmail.com.

ANALYSIS OF THE STRESSED AND DEFORMED STATE AT REVERSE METHODS OF PLASTIC FORMING

Abstract

An assessment of the stress-strain state during alternating plastic processing of metal, which is realized by reverse movement of the tool. A study of the features of the kinematics of deformation in nonmonotonic plastic deformation, as one of the stages in obtaining reliable information about the stress-strain state.

Keywords: nonmonotonic plastic deformation, coordinate grid method, components of strain rate tensor.

Sivak Roman, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection, Vinnytsia national agrarian university, Vinnytsia, sivak_r_i@ukr.net.

Zaluzniak Roman, Vinnytsia national agrarian university, Vinnytsia, pacifistroma@gmail.com.