

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

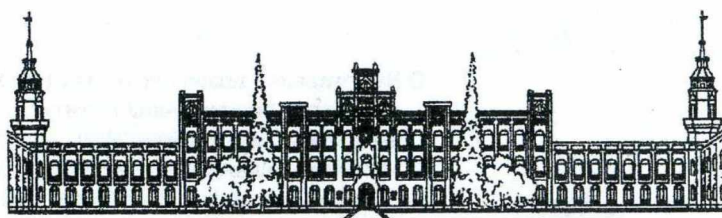
**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

**ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ**  
**В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ**  
**І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ**

**МАТЕРІАЛИ**  
**X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ**  
**КОНФЕРЕНЦІЇ**

*3–7 червня 2019 року*



**Київ–Херсон**

16. О.В. Мозговий <b>ВТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІ ВОЛОКНИСТИМИ КОМПОЗИТАМИ З ПОЛІМЕРНОЮ МАТРИЦЕЮ.....</b>	50
17. А.В. Тітов, Т.Р. Гараненко, А.В. Кліско, В.О. Корева <b>ПОБУДОВА ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ВІД ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗГІН ДЛЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ6.....</b>	54
18. Є.Є. Бергер <b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАСТИЛ ПІД ЧАС ВОЛОЧІННЯ.....</b>	56
19. О. С. Марков, О. В. Герасименко, А. С. Хващинський <b>РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОФІЛЬОВАННЯ ТА ОСАДЖЕННЯ ЗАГОТОВОК.....</b>	58
20. Р.Г. Пузир, Р.Г. Аргат, Р.А. Вакуленко, О.М. Кузьміна, О.О. Педун <b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗАГОТОВКИ, ЩО УСУВАЄ ВТРАТУ СТІЙКОСТІ ФЛАНЦЯ ПРИ ВИТЯГУВАННІ.....</b>	61
21. О.Г. Курпе, В.В. Кухар <b>ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНВЕКЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ В РОЗРАХУНКАХ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СМУГИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНІЧНІЙ ПРОКАТЦІ.....</b>	65
22. Р. І. Сивак <b>ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ АНІЗОТРОПНО ЗМІЦНЮВАНОВОГО ТІЛА ПРИ НЕМОНОТОННІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ.....</b>	67
23. Л.Ф. Головка, В.В. Романенко, М.С. Блощинин, С.С. Салій, І.В. Свічкарь <b>ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВАНИ РОЗПЛАВУ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОМУ МЕТОДІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ.....</b>	69
24. О.В. Алтухов, О.Ф. Тарасов <b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	70
25. В.П. Ламашевський, В.А. Тітов, В.П. Швець, Н.К. Злочевська <b>ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАПІВФАБРИКАТІВ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.....</b>	72
26. В.А. Матвійчук, В. М. Михалевич <b>МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМІВНОСТІ ЗАГОТОВОК НА ОКРЕМИХ ПЕРЕХОДАХ ВАЛЬЦОВАННЯ.....</b>	76
27. Аріф Намоглу, В.Л. Чухліб, В.Д. Мішалов, О.О. Філіппі, Ю.Ю. Зубко, Є.В. Пиндич <b>РОЗРОБКА ТА ВИПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ МЕТАЛУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОКОВОК ВІЛЬНИМ КУВАННЯМ В УМОВАХ КОВАЛЬСЬКО-ТЕРМІЧНОГО ЦЕХА ТОВ «ДНІПРОПРЕС СТАЛЬ».....</b>	78
28. Р.М. Юзефович, М.З. Варивода, І.М. Яворський, П.Р. Курапов <b>АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	80

## ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ АНІЗОТРОПНО ЗМІЦНЮВАНОГО ТІЛА ПРИ НЕМОНОТОННІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

При оцінці граничного стану для опису процесів пластичного деформування матеріалу заготовки при немонотонному навантаженні можна застосувати математичну теорію пластичності О. А. Ільюшина [1] або модель анізотропно зміцнюваного тіла запропоновану Г. Бакхаузом [2]. Однак для вибору відповідної теорії пластичності необхідно попередньо з'ясувати область її застосування з урахуванням реального процесу навантаження. Границі цієї області можна визначити шляхом зіставлення результатів розрахунку і експерименту при складному навантаженні.

В даній роботі представлена оцінка точності розрахунків компонент девіатора напружень для траєкторії зі зломом по співвідношенням отриманим на основі моделі, запропонованої Г. Бакхаузом [2-6].

У роботах [5-6] отримані рівняння для розрахунку компонент девіатора напружень при немонотонному навантаженні на основі моделі Г. Бакхауза

$$S_{ij} = \frac{2}{3} \sigma_u(e_u) \frac{\dot{\epsilon}_{ij}}{\dot{\epsilon}_u} - \frac{1}{3} \int_0^{e_u} (1 - \beta(e_u^*)) \sigma_u(e_u^*) \varphi(e_u^* - e_u^0) \frac{d^2 e_{ij}}{de_u^2}(e_u^*) de_u^* \quad (1)$$

Для визначення компонент девіатора напружень по (1) необхідно експериментально визначити три характеристики матеріалу: криву течії  $\sigma_u(e_u)$ , функцію  $\beta(e_u)$ , що характеризує вплив ефекту Баушингера, функцію  $\varphi(e_u - e_u^0)$ , що характеризує спадковий вплив історії навантаження, а також мати інформацію про кінематику процесу пластичної деформації. Компоненти тензора напружень можна визначити за відомою методикою [5, 7, 8].

При експериментальних дослідженнях вважали справедливою гіпотезу про те, що функції  $\sigma_p(e_u)$ ,  $\beta(e_u)$  і  $\varphi(e_u - e_u^0)$  не залежать від схеми напруженого стану та історії деформування. У зв'язку з цим, зазначені характеристики немонотонного навантаження можна визначити в умовах лінійного напруженого стану [5, 6, 9].

Результати експериментальних досліджень показують, що параметр  $\beta$  сильно залежить від накопиченої деформації  $e_u$  при  $e_u \leq 0,05$ , а при  $e_u > 0,05$ , цей параметр для більшості металів залишається практично постійним і приймає певне значення  $\beta_m$  [9]. Для сталі 10 цей параметр дорівнює  $\beta_m = 0,34$ . У зв'язку з цим можна розглядати  $\beta_m$  як механічну характеристику металів для оцінки схильності останніх до прояву деформаційної анізотропії [9]. Необхідно відзначити, що деформація  $e_u \approx 0,05$  порівнянна з довжиною сліду запізнення скалярних властивостей матеріалу [1].

В роботі розглянуті дволанкові траєкторії в просторі вектора деформацій [4]. Траєкторії отримані в досліді на розтяг з подальшим крученням ( $\beta_1 = 90^\circ$ ) і досліді на розтяг з подальшим спільним крученням і розтягом ( $\beta_2 = 30^\circ$  і  $\beta_3 = 60^\circ$ ). При цьому використовували стандартні суцільні циліндричні зразки зі сталі 10. Щоб уникнути локалізації пластичної деформації як при розтягу, так і при крученні ступінь деформації  $e_u$  не перевищувала значень  $e_u \leq 0,3$  при  $\epsilon_z \leq 0,16$ . Деформування здійснювали по програмам, які забезпечують лінійність траєкторій в просторі деформацій.

Повна осьова деформація

$$\epsilon_z^\Sigma = \epsilon_{z_0} + \epsilon_z,$$

$$\text{де } \epsilon_{z_0} = \ln \frac{l_1}{l_0} \text{ і } \epsilon_z = \ln \frac{l_2}{l_1},$$

$l_0$ - початкова довжина робочої частини зразка,

$l_1$  - довжина робочої частини зразка перед зломом,

$l_2$  - довжина робочої частини зразка після злому.

Для реалізації необхідних траєкторій деформацій зразки розтягували до значень  $\varepsilon_z=0,04-0,10$ , а потім, не змінюючи осьової сили, зразки закручували. При цьому одночасно вимірювали величини осьового  $P$  і кутового  $M$  навантажень.

Розбіжності між значеннями  $S_z$ , розрахованими за формулою (1) після злому траєкторії деформації на кут  $\beta_3=60^0$  і експериментальними, розрахованими за формулами

$$\sigma_z = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (2) \quad \tau_{z\theta} = \frac{12M}{\pi d^3}, \quad (3) \quad S_z = \frac{2}{3}\sigma_z. \quad (4)$$

не перевищували 20%, а при  $\beta_2=30^0$  - розбіжності не перевищували 14%. Тобто можна вважати, що при  $\beta_2 \leq 30^0$  формула (1) задовільно описує ефекти запізнення, які мають місце при зломі траєкторії деформації.

Однак при куті злому  $\beta_1=90^0$  розбіжність між експериментальними і розрахованими за формулою (1) значеннями складають 50% і більше.

Характер залежності осьового  $\sigma_z(\epsilon_u)$  і дотичного  $\tau_{z\theta}(\epsilon_u)$  напружень від ступеня деформації  $\epsilon_u$  практично не залежить як від величини деформації перед зломом (в межах досліджуваного інтервалу значень попереднього ступеня деформації  $\epsilon_u=0,04-0,10$ ), так і від того, в якій послідовності злом реалізується. Тобто, на першому етапі проводиться деформація розтягу, а потім кручення або навпаки. Із співвідношення (1) випливає, що при зламі траєкторії деформації на кут  $\beta_1=90^0$  компонента девіатора напружень  $S_z$  повинна дорівнювати нулю і напруження  $\sigma_z$  також має дорівнювати нулю. Однак цього при пластичній деформації не відбувається. Як випливає з експериментальних даних напруження  $\sigma_z$  повільно спадає зі збільшенням дотичного напруження  $\tau_{z\theta}$ . Необхідно відзначити, що при деформації в пружній області,  $\sigma_z$  після злому траєкторії деформації при постійній осьовій силі залишалася б також постійною.

**За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:** при дослідженні процесів немонотонного навантаження, для яких характерні траєкторії великої кривизни (наприклад, мають місце зломи), необхідно використовувати теорію пластичності О. А. Ільюшина. Модель Г. Бакхауза можна використовувати для траєкторій середньої і малої кривизни. У загальному випадку складного навантаження придатність тієї чи іншої теорії пластичності необхідно визначати шляхом зіставлення результатів розрахунку з експериментальними результатами.

#### Список використаних джерел

1. Ильюшин А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М.: Издательство АН СССР. Отделение технических наук, 1963. – 272 с.
2. Backhaus G. Zur analytischen Darstellung des Materialverhaltens im plastischen Bereich / G. Backhaus // ZAMM. - 1971. - №51. - P. 471 - 477.
3. Сивак Р. И. Влияние немонотонности пластической деформации на напряженное состояние / Р. И. Сивак, О. В. Сердюк, И. О. Сивак // Обработка материалов давлением. – 2010. – №2(23). – С. 3-7.
4. Сивак Р. И. Оценка предельных деформаций при немонотонном нагружении / Р. И. Сивак, И. Г. Савчинский, И. О. Сивак // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». - 2011. - №62. – С. 247-250.
5. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. - М.: Машиностроение, 1978.- 174 с.
6. Хван Д. В. Исследование деформационной анизотропии металлов при немонотонном пластическом деформировании в условиях линейного напряжённого состояния / Д. В. Хван, О. А. Розенберг, Ю. А. Цеханов // Проблемы прочности. - 1990. - №12. – С. 53-56.
7. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. - Киев: Выща школа, 1983.-175 с.
8. Алиев И. С. Повышение качества процессов холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев, Л. И. Девиченко, К. Д. Махмудов // Повышение точности в холодноштамповочном производстве. - Л.: ЛДНТП, 1981. - С. 50-55.
9. Хван Д. В. Экспериментальная механика конечных деформаций / Д. В. Хван, Ф. Х. Томилов, В. И. Корольков. – Воронеж: Изд-во «ЭЛИСТ», 1996. – 248 с.