

Міністерство освіти і науки України

Донбаська державна машинобудівна академія



**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ
І ОБЛАДНАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ
В МЕТАЛУРГІЇ І МАШИНОБУДУВАННІ**

Тематичний збірник наукових праць

КРАМАТОРСЬК - ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ 2002

Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ, 2002. – 567с. – Парал. тит. арк.: рос.

В збірнику представлені статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням, а також удосконаленню технологічних процесів і обладнання обробки тиском, які широко застосовуються в металургії та машинобудуванні. Ці дослідження та розробки виконані вченими, аспірантами та студентами технічних навчальних закладів, НДІ, підприємств України та інших країн. Збірник буде корисним для студентів та аспірантів технічних ВНЗ, інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, машинобудівних та металургійних підприємств.

Редакційна рада

Потапкін В.Ф.	доктор технічних наук, професор, ректор ДДМА, голова ради;
Алієв І.С.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Обробка металів тиском” ДДМА;
Белкін М.Я.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Металознавство, технологія та термічна обробка металів” ДДМА;
Бейгельзімер Я.Ю.	доктор технічних наук, науковий співробітник Донецького фізико-технічного інституту НАН України;
Дорошко В.І.	доктор технічних наук, професор, СУНУ (м. Луганськ);
Євстратов В.О.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Обробка металів тиском” НТУ “ХП” (м. Харків);
Іщенко А.О.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Механічне обладнання підприємств” ЦДТУ (м. Маріуполь);
Лаптев О.М.	доктор технічних наук, професор, ДДМА;
Роганов Л.Л.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Машини та технологія обробки металів тиском” ДДМА;
Соколов Л.М.	доктор технічних наук, професор, ДДМА;
Сатонін О.В.	доктор технічних наук, доцент, ДДМА;
Тарасов О.Ф.	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Комп’ютерно - інформаційні технології” ДДМА;
Федорінов В.А.	кандидат технічних наук, доцент, проректор з наукової роботи ДДМА;

Адреса редакції збірника: вул. Шкадінова 72, м. Краматорськ,
Донецька обл., Україна, 84313
E-mail: omd@dgma.donetsk.ua

Телефон: (0626) 41-67-20, 41-69-42
Факс: (0626) 41-63-15

Зміст

Розділ I – Теорія та технологія обробки тиском в машинобудуванні

<i>Огородников В.А., Нахайчук О.В.</i>	
Разработка системных подходов к решению задач теории пластичности	10
<i>Михалевиц В.М., Матвейчук В.А., Красевський В.О., Козлов К.С.</i>	
Тензорно-лінійна модель з врахуванням "пам'яті напрямів" при двохступеновому деформуванні	13
<i>Гридин А. Ю.</i>	
Двумерная математическая модель процесса прессования тонкостенного профиля из плоской матрицы с форкамерой	16
<i>Алиев И.С., Крюгер К.</i>	
Измерение сил контактного пластического трения	22
<i>Коробко Т.Б., Майоров Г.И.</i>	
Двухплоскостное перемещение инструмента при глубокой вытяжке с волочением осесимметричных деталей	30
<i>Бойко В.Г., Савчинский И.Г.</i>	
Аналитическое определение поля скоростей процесса стационарного прямого выдавливания сверхпластичных материалов	33
<i>Турич В.В., Любін М.В.</i>	
Питома сила тертя при видавлюванні метричних різей з накладанням ультразвукових коливань	39
<i>Митичкина Н.Г.</i>	
Принцип перераспределения утонения вдоль образующей горловины при отбортовке	42
<i>Носуленко В.І., Чумаченко О.С., Великий П.М.</i>	
Альтернативні процеси виконання розділових операцій листових деталей	45
<i>Стебляк В.І., Орлюк М.В., Литвиненко П.Л.</i>	
Особенности складкоутворення та його запобігання при витягуванні з попередньо спрофільованих заготовок	52
<i>Феофанова А.Е.</i>	
Влияние предварительного растяжения на последующее формоизменение листового металла	58
<i>Калпина Н.Ю., Филистов Ю.К.</i>	
Выбор технологии при холодной объёмной штамповке осесимметричных деталей с фланцем переменной толщины	62
<i>Калюжний В.Л.</i>	
Холодне видавлювання порожнин штампів, пресформ та ливформ в умовах високих гідростатичних тисків в осередку деформації	66
<i>Филистов Ю.К., Рагулин А.В., Миронов В.А., Червона О.Н.</i>	
Разработка технологических процессов холодной объёмной штамповки деталей типа тонкостенных втулок с учетом пластических свойств	69
<i>Соколов Л.Н., Марков О.Е., Олешко В.М., Протеняк М.В.</i>	
Сравнительный анализ вариантов изготовления поковок типа пластин	75
<i>Бильк Г.Б., Веремей О.В.</i>	
Моделирование и проектирование на ЭВМ кованых зубчатых колес	81
<i>Шевцов С.А., Капорович С.В., Алиева Л.И., Михеенко Д.Ю.</i>	
Численное математическое моделирование распределений напряжений и деформаций при поперечном выдавливании осесимметричных деталей с относительно тонким фланцем	86
<i>Карнаух С.Г., Бегунов А.А., Вишняков М.А.</i>	
Экспериментальные исследования процесса силовых параметров внедрения жесткого клиновидного инструмента в прокат	91
<i>Кравченко С.Г.</i>	
Аналіз схем пресування тугоглавких профілів	94
<i>Мягков И.В., Юрченко Ю.И., Мягкова О.И., Етифанов О.А.</i>	
Технология непрерывного роторного экструдирования	98
<i>Михайленко Б.Е., Корж В.В., Прийменко С.Г., Корж В.Г.</i>	
Исследование возможности получения горячей штамповкой хромистой стали без предварительного спекания	101
<i>Носаков А.А., Солодун Е.М., Алиева Л.И.</i>	
Прогнозирование дефектов типа утяжин при точной штамповке выдавливанием	105
<i>Алиев И.С., Борисов Р.С., Ковляшенко С.А.</i>	
Формоизменение заготовки при боковом выдавливании	111
<i>Гринкевич В.А., Чухлеб В.Л., Базна М.М.</i>	
Экспериментальное исследование формоизменения металла при прошивке сплошным прошивнем на нижней плите	114

УДК 539.3

Михалеви́ч В.М., Матві́йчук В.А., Краєвський В.О., Козлов К.Є. (Вінниця, ВДТУ)

ТЕНЗОРНО-ЛІНІЙНА МОДЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ “ПАМ’ЯТІ НАПРЯМІВ” ПРИ ДВОХСТУПЕНЕВОМУ ДЕФОРМУВАННІ

В этой работе усовершенствована тензорно-линейная модель накопления повреждений на основе гипотезы, что изменение главных направлений приростов тензора деформаций не сопровождается так же внезапным изменением главных направлений приростов тензора повреждений, поскольку материал “помнит” “проторенные дорожки”, по которым происходило накопление повреждений и на создание новых “дорожек” нужна определенная величина пластической деформации.

In this article the tensor linear model of damages accumulation is improved on the basis of a hypothesis, that the change of principal directions of strains tensor increases is not accompanied as by a sudden change of principal directions of damages tensor increases. It is caused by that the material “remembers” “beaten track”, on which there was damages accumulation and on creation of new “tracks” the defined magnitude of a plastic deformation is necessary.

В роботі [1] приведено детальний аналіз моделей накопичення пошкоджень у зіставленні з експериментальними даними. Незважаючи на те, що подання пошкодження макрочастинки матеріалу у вигляді тензора дозволило описати широкий клас експериментальних даних, що не вміщувався у рамки скалярних моделей, у цілому ряді випадків сучасні моделі руйнування не в повній мірі задовольняють потреби практики. Результати аналізу свідчать, що простим ускладненням функцій, які входять в модель руйнування матеріалів, як правило, неможливо досягти значного покращання адекватності моделі. До того ж ускладнення означених функцій приводить до збільшення кількості параметрів моделі, а отже і збільшення обсягу експериментальних даних, необхідних для визначення цих параметрів. З цього випливає, що ускладнення моделі повинно відбуватися шляхом висунення фізично обґрунтованих концепцій і базуватися на врахуванні цих концепцій у самій структурі моделі.

В цій роботі висувається наступна гіпотеза, яка має “прозоре” фізичне тлумачення. При зміні головних напрямів приростів тензора деформаций, головні напрями приростів тензора пошкоджень у перший момент зміни напрямів співпадають з попередніми напрямими приростів тензора деформаций. І тільки після деформування на певну величину накопиченої деформації головні напрями приростів тензора пошкоджень поступово змінюються до нових головних напрямів приростів тензора деформаций. Тобто, зміна головних напрямів приростів тензора деформаций не супроводжується так само раптовою зміною головних напрямів приростів тензора пошкоджень, оскільки матеріал “пам’ятає” “уторовані доріжки”, за якими відбувалося накопичення пошкоджень і на створення нових “доріжок” потрібна певна величина пластичної деформації.

Тензорно-лінійна модель Г.Д. Деля має вигляд

$$\psi_{ij}(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} F(\varepsilon_u; \eta; \mu_\sigma) \cdot \beta_{ij}(\varepsilon_u) \cdot d\varepsilon_u, \quad (1)$$

де ψ_{ij} - тензор-девіатор пошкоджень; $F(\varepsilon_u; \eta; \mu_\sigma)$ - деяка функція, що відображує властивості матеріалу; $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta; \mu_\sigma)$ - діаграма пластичності; $\beta_{ij} = d\varepsilon_{ij} / \sqrt{d\varepsilon_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij}}$ - напрямний тензор приростів деформаций; $d\varepsilon_{ij}$ - прирости пластичної деформації; $d\varepsilon_u$ - інтенсивність приростів пластичної деформації.

Стосовно до двохступеневого деформування, коли на першому етапі при $0 \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u^{(1)}$ справедливо $\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \beta_{ij}^{(1)}$, $\eta(\varepsilon_u) = \eta^{(1)}$, $\mu_\sigma(\varepsilon_u) = \mu_\sigma^{(1)}$, а на другому, при $\varepsilon_u^{(1)} < \varepsilon_u < \varepsilon_{*c}$ - $\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \beta_{ij}^{(2)}$, $\eta(\varepsilon_u) = \eta^{(2)}$, $\mu_\sigma(\varepsilon_u) = \mu_\sigma^{(2)}$, модель (1) набуває вигляду

$$\psi_{ij}(\varepsilon_u) = \beta_{ij}^{(1)} \cdot \int_0^{\varepsilon_u^{(1)}} F(\varepsilon_u; \eta^{(1)}; \mu_\sigma^{(1)}) \cdot d\varepsilon_u + \beta_{ij}^{(2)} \cdot \int_{\varepsilon_u^{(1)}}^{\varepsilon_u} F(\varepsilon_u; \eta^{(2)}; \mu_\sigma^{(2)}) \cdot d\varepsilon_u. \quad (2)$$

Один із постулатів, на основі яких побудовано модель (1) є співвісність тензорів приростів пошкоджень та пластичних деформацій. Якщо відкинути цей постулат, то модель накопичення пошкоджень можна подати у вигляді, подібному до (1), в якому стосовно до двохступеневого деформування матимемо

$$\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \begin{cases} \beta_{ij}^{(1)}, 0 \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u^{(1)} \\ \left(1 - \frac{\varepsilon_u - \varepsilon_u^{(1)}}{\Delta\varepsilon_{кр}}\right) \cdot \beta_{ij}^{(1)} + \frac{\varepsilon_u - \varepsilon_u^{(1)}}{\Delta\varepsilon_{кр}} \cdot \beta_{ij}^{(2)}, \varepsilon_u^{(1)} \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{кр}, \\ \beta_{ij}^{(2)}, \varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{кр} \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_* \end{cases} \quad (3)$$

де $\Delta\varepsilon_{кр}$ - величина накопиченої пластичної деформації на другому етапі, по досягненні якої тензори приростів пошкоджень та пластичних деформацій стають співвісними.

Очевидно, що вираз (3) задовольняє граничній умові: при гіпотетичному розділенні стаціонарного деформування на два етапи, тобто за умови $\beta_{ij}^{(2)} = \beta_{ij}^{(1)}$, матимемо $\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \beta_{ij}^{(1)}$ для будь-якого моменту деформування. Крім того повинна виконуватися умова:

$$\lim_{\varepsilon_u^{(1)} \rightarrow 0} \Delta\varepsilon_{кр} = \varepsilon_u. \quad (4)$$

З використанням апроксимації

$$F(\varepsilon_u; \eta; \mu_\sigma) = n \cdot \varepsilon_u^{n-1} / \varepsilon_*^n \quad (5)$$

і умови руйнування

$$\psi_u = \sqrt{\psi_{ij} \cdot \psi_{ij}} = 1 \quad (6)$$

стосовно до двохступеневого деформування матимемо

$$\psi_{*2} + \psi_{кр} = \left\{ d_1 - A_1 - k_{12} \cdot (d - A_1) + \sqrt{(d - A_1)^2 \cdot (k_{12}^2 - 1) + 1} \right\}^{\frac{1}{n}} - \psi_1 \cdot \alpha_{12} - \psi_{кр}, \quad (7)$$

де

$\psi_1 = \varepsilon_u^{(1)} / \varepsilon_* \cdot (\eta^{(1)}; \mu_\sigma^{(1)})$ - використаний ресурс пластичності на першому етапі деформування;

$\psi_{*2} + \psi_{кр} = (\varepsilon_* - \varepsilon_u^{(1)}) / \varepsilon_* \cdot (\eta^{(2)}; \mu_\sigma^{(2)})$ - залишковий ресурс пластичності на другому етапі деформування;

$$\psi_{*2} = (\varepsilon_* - \varepsilon_u^{(1)} - \Delta\varepsilon_{кр}) / \varepsilon_* \cdot (\eta^{(2)}; \mu_\sigma^{(2)});$$

$$\psi_{кр} = \Delta\varepsilon_{кр} / \varepsilon_* \cdot (\eta^{(2)}; \mu_\sigma^{(2)});$$

$\Delta\varepsilon_{кр}$ - накопичена деформація на другому етапі деформування, по досягненні якої стають співвісними тензори приростів пошкоджень та пластичних деформацій;

$$d = \psi_1^n + d_1 - d_2; \quad d_1 = (\psi_1 \cdot \alpha_{12} + \psi_{кр})^n; \quad d_2 = (\psi_1 \cdot \alpha_{12})^n;$$

$$A_1 = \frac{n}{n+1} \cdot [d_1 \cdot (d_3 + 1) - d_2 \cdot d_3] + (d_2 - d_1) \cdot d_3; \quad (8)$$

$$d_1 = \psi_1 \cdot \alpha_{12} / \psi_{кр};$$

$k_{12} = \beta_{ij}^{(1)} \cdot \beta_{ij}^{(2)}$ – косинус кута зламу траєкторії деформацій.

Для задоволення умови (4) можна прийняти

$$\psi_{кр} = \frac{a}{\exp\left(\frac{a}{\psi_1^{2a}}\right)}. \quad (9)$$

На рис. 1 наведено зіставлення експериментальних та розрахункових даних. З порівняння випливає, що стосовно до двохступеневого деформування за схемою “розтяг-стиск” розрахунки по різним моделям практично співпадають у діапазоні $0 \leq \psi_1 \leq 0,5$. Що ж стосується діапазону $0,5 < \psi_1 < 1$, то врахування “пам’яті напрямів” дозволило суттєво покращити адекватність тензорно-лінійної моделі.

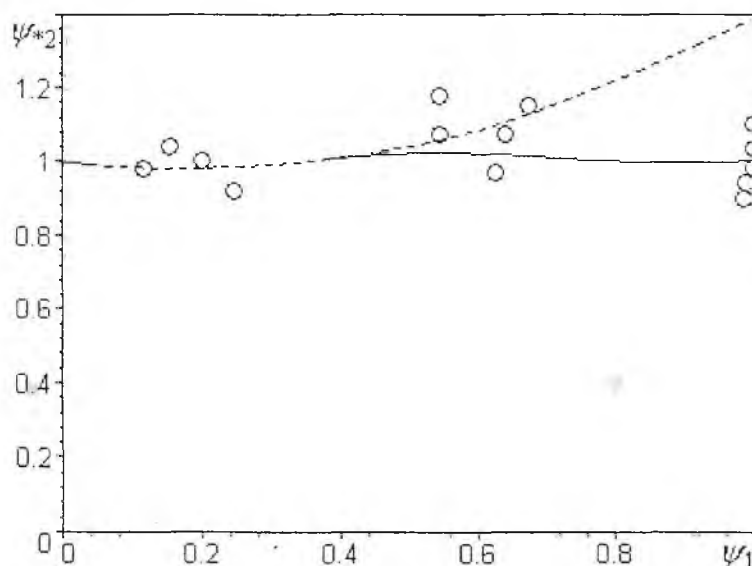


Рис. 1 – Двохступеневе деформування за схемою “розтяг-стиск”:

- - розрахунок за співвідношенням (7);
- - розрахунок за тензорно-лінійною моделлю без врахування “пам’яті напрямів”;
- - експеримент.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михалеви́ч В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. Вінниця: «УНІВЕРСУМ - Вінниця», 1998. - 195 с.