

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ В СУЧАСНИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ ОБРОБКИ ТИСКОМ І АВТОТЕХНІЧНИХ
ЕКСПЕРТИЗАХ**

29 травня – 1 червня 2006 року

Тези доповідей

Вінниця 2006

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТЕНЗОРНО-ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ІЗ ВРАХУВАННЯМ «ПАМ'ЯТІ НАПРЯМІВ»

В. М. Михалевич, В. О. Краєвський (ВНТУ, Вінниця)

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 [1] свідчать, що простим ускладненням функцій, які входять в модель руйнування матеріалів, як правило, неможливо досягти значного покращення адекватності моделі. До того ж ускладнення зазначених функцій приводить до збільшення кількості параметрів моделі, а, отже, і збільшення обсягу експериментальних даних, які необхідні для визначення цих параметрів. З цього випливає, що ускладнення моделі повинно відбуватись шляхом висування фізично обґрунтованих концепцій і базуватися на врахуванні цих концепцій у самій структурі моделі.

Для побудови тензорної моделі накопичення пошкоджень висувається наступна гіпотеза, яка має “прозоре” фізичне тлумачення. При зміні головних напрямів приростів тензора деформацій, головні напрями тензора накопичення пошкоджень на початку другого етапу деформування співпадають з попередніми напрямками тензора приростів деформацій. І тільки після накопичення певного ступеня пластичної деформації головні напрями тензора накопичення пошкоджень поступово змінюються до нових головних напрямів приростів тензора деформацій.

За базу в візьмемо тензорно-лінійну модель, що запропонована Г. Д. Делем [2]

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

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

Стосовно до двохетапного 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 $\varepsilon_u^{(1)} < \varepsilon_u < \varepsilon_u$ - $\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \beta_{ij}^{(2)}$, $\eta(\varepsilon_u) = \eta^{(2)}$, $\mu_\sigma(\varepsilon_u) = \mu_\sigma^{(2)}$, 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 головних напрямів тензорів накопичення пошкоджень та приростів пластичних деформацій. Якщо відкинути цей постулат і припустити, що головні напрями тензора накопичення пошкоджень поступово повертаються, то стосовно до двохетапного деформування напрямний тензор можна подати у вигляді

$$\beta_{ij}(\varepsilon_u) = \begin{cases} \beta_{ij}^{(1)}, 0 \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u^{(1)}; \\ \beta_{ij}^{(12)}, \varepsilon_u^{(1)} \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{sp}; \\ \beta_{ij}^{(2)}, \varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{sp} \leq \varepsilon_u \leq \varepsilon_u, \end{cases} \quad (3)$$

де $\beta_{ij}^{(12)}$ - проміжне положення напрямного тензора, який визначає поворот головних напрямів тензора накопичення пошкоджень; $\Delta\varepsilon_{sp}$ - ступінь накопиченої пластичної деформації на другому етапі, по досягненні якого головні напрями тензорів накопичення пошкоджень та приростів пластичних деформацій стають співвісними.

Напрямний тензор, що визначає положення головних напрямів тензора накопичення пошкоджень при їх поверті від напрямку, який збігається із головними напрямками тензора приростів деформацій на першому етапі деформування, до напрямку, який збігається із головними напрямками тензора приростів деформації на другому етапі деформування, подамо як лінійну комбінацію напрямних тензорів на першому та другому етапах деформування

$$\beta_{ij}^{(12)} = \frac{(1 - \delta) \cdot \beta_{ij}^{(1)} + \delta \cdot \beta_{ij}^{(2)}}{\sqrt{[(1 - \delta) \cdot \beta_{ij}^{(1)} + \delta \cdot \beta_{ij}^{(2)}] \cdot [(1 - \delta) \cdot \beta_{ij}^{(1)} + \delta \cdot \beta_{ij}^{(2)}]}}. \quad (4)$$

Враховуючи те, що $\beta_{ij}^{(1)}$ та $\beta_{ij}^{(2)}$ напрямні тензори, тобто $\beta_{ij}^{(q)} \cdot \beta_{ij}^{(q)} = 1$, $\beta_{ij}^{(q)} \cdot \beta_{ij}^{(r)} = k_{qr}$, матимемо

$$\beta_{ij}^{(12)} = \frac{(1 - \delta) \cdot \beta_{ij}^{(1)} + \delta \cdot \beta_{ij}^{(2)}}{\sqrt{(1 - \delta)^2 + 2 \cdot \delta \cdot (1 - \delta) \cdot k_{12} + \delta^2}}. \quad (5)$$

Параметр δ визначається накопиченою деформацією на другому етапі деформування та критичною деформацією, при якій

головні напрями тензорів накопичення пошкоджень та приростів деформацій стають співвісними. Функція $\delta(\varepsilon_u - \varepsilon_u^{(1)}, \Delta\varepsilon_{xp})$ повинна бути монотонно зростаючою на проміжку $[\varepsilon_u^{(1)}; \varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{xp}]$ і задовольняти наступні умови

$$\begin{cases} \delta(\varepsilon_u^{(1)}) = 0; \\ \delta(\varepsilon_u^{(1)} + \Delta\varepsilon_{xp}) = 1. \end{cases} \quad (6)$$

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

$$\lim_{\varepsilon_u^{(1)} \rightarrow 0} \Delta\varepsilon_{xp} = 0. \quad (7)$$

Для виконання умови (7) оберемо наступну апроксимацію ресурсу пластичності ψ_{xp} , при досягненні якого головні напрями тензорів накопичення пошкоджень та приростів пластичних деформацій стають співвісними,

$$\psi_{xp} = \frac{a}{e^{\nu \varepsilon_u^2}}, \quad (8)$$

де ψ_1 – використаний ресурс пластичності на першому етапі деформування; a - параметр моделі; $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta; \mu_\sigma)$ - діаграма пластичності;

$$\psi_1 = \frac{\varepsilon_u^{(1)}}{\varepsilon_{*c}(\eta^{(1)}; \mu_\sigma^{(1)})}; \psi_{xp} = \frac{\Delta\varepsilon_{xp}}{\varepsilon_{*c}(\eta^{(2)}; \mu_\sigma^{(2)})}.$$

Висновки

В роботі висунуто гіпотезу, що зміна головних напрямів тензора приростів деформації не супроводжується такою ж раптовою зміною головних напрямів тензора накопичення пошкоджень. На основі висунутої гіпотези розроблено структуру тензорно-лінійної моделі накопичення пошкоджень із врахуванням «пам'яті напрямів».

ЛІТЕРАТУРА

1. Михалевич В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. Вінниця: «УНІВЕРСУМ - Вінниця», 1998. - 195 с.
2. Дель Г. Д. Пластичність при немонотонном деформировании. Воронеж, - 1982. - 10 с. - Деп. в ВИНТИ 13.04.82, №1813-82.

РУДЬ В.Д., СМОЛЯКИН О.А., СОМОВ Д.А. К методике определения механических характеристик при сложном нагружении	77
ХВАН А.Д., ПАНИН П.М. Осадка со сдвигом плоской заготовки..	78
ГРУШКО А.В. К вопросу о предельных деформациях при растяжении цилиндрических образцов.....	79
МУЗЫЧУК В.И. Деформируемость заготовки шатуна при штамповке	82
ГАЙДАМАК О.Л., ОГОРОДНИКОВ В.А., ГОНЧАРУК А.О. Усовершенствование методик расчета предельной деформации при деформировании с промежуточной термообработкой.....	85
МАТВИЙЧУК В.А. Підвищення деформівності листових матеріалів при витяжці шляхом використання заготовок, отриманих пластичним переформуванням.....	88
ПЕНТЮК Б.М. Элементи розрахунку технологічних параметрів вібропресів для ущільнення порошкових матеріалів.....	91
БАЙЛО В.Г. Ергодинаміка пластичного деформування і твердість.....	94
МИХАЛЕВИЧ В.М., КРАЄВСЬКИЙ В.О. Розробка структури тензорно-лінійної моделі накопичення пошкоджень із врахуванням «пам'яті напрямів»	97
ЕЛИЗАРОВ Ю.М., ЕЛИСБЕЕВ В.В. Определение параметров моделей материалов для конечно-элементного моделирования процессов пластического деформирования.....	100
АЛИЕВА Л.И., МАРТЫНОВ С.В. Исследование деформированного состояния при радиальном выдавливании фланцев.....	103
ИВАЦКО В.Т., КАРВАТКО О.В., ДРАГОНЮК Р.С., ПЕРЕСУНЬКО В.А. Определение накопленной деформации поверхностного слоя при поверхностном пластическом деформировании.....	104
КУХАРЬ В.В., БУРКО В.А. Многофункциональная математическая модель формоизменения при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми плитами.....	107
РУДЬ В.Д., КУЗЬМІН В.А., СОМОВ Д.О. Низькочастотний електрогідравлічний вібраційний модуль для просвічування землі.	110
ЗАБОЛОТНИЙ О.В., СОМОВ Д.О., ПОВСТЯНОЙ О.Ю., СИЧУК В.А., Використання модульних конструкцій при отриманні виробів методом радіального ізостатичного пресування.....	113
КИРИЦА И.Ю. Оценка деформируемости заготовок при обратном выдавливании.....	117

САВУЛЯК В.В. Напружений стан тонколистових матеріалів в процесі формування гофрів.....	120
КОЦЮБИВСКАЯ Е.И. Решение задачи деформируемости для плоского напряженного состояния.....	123
КАРВАТКО О.В. Експериментальне дослідження процесу обкатки роликом.....	126
СИВАК І.О., ЖЕЛАВСЬКА О.В. Напружено-деформований стан при поперечному видавлюванні.....	129
ТАРАСОВ А.Ф., БУРЛЕЙ П.А. Влияние параметров статикодинамического нагружения на изгибную прочность несеченных прессовок	132
БАРАБОЙ Н.Н. Горячее деформирование заготовок из титановых сплавов на ковочных вальцах в калибрах различных систем	133
 Секція №2. Теорія пластичності в автотехнічних експертизах	 137
 КИСЕЛЕВ В.Б. Приложение феноменологической теории деформируемости к задачам автотехнической экспертизы	 138
БАЙКОВ В.П. Полные диаграммы деформирования. Концепция. Построение. Применение	141
ТОРЛИН В.Н., КСЕНОФОНТОВА В.А., ВЕТРОГОН А.А. Обратная задача упруго-статической деформации для конечно-элементной модели кузова легкового автомобиля	144
БАЙКОВ В.П. О критериях срабатывания подушек безопасности и особенностях ударного нагружения при столкновениях автомобилей	146
ПОБЕРЕЖНЫЙ М.И. Определение энергии пластического деформирования элементов конструкций транспортных средств ...	149
ФЕДУЛОВА Е.Ф., ГАРДЕМАН В.Д., ГРИГОРЬЕВ А.И. Особенности разрушения литых деталей транспортных, имеющих неметаллические включения	150
Зміст	152