

УДК 531.374

М.С. Михайлишин, к.ф.-м.н.; В.М. Михайлишин; Г.М. Семенишин
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ФІЗИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ТЕОРІЇ ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ З УРАХУВАННЯМ РОЗВАНТАЖЕННЯ

М. Mykhailyshyn, Ph.D; V. Mykhailyshyn; H. Semenyshyn
STRESS-STRAIN RELATIONS OF DEFORMATION THEORY OF THERMAL
PLASTICITY IN CASE OF UNLOADING TAKEN INTO ACCOUNT

В багатьох технологічних процесах елементи конструкцій піддаються значним силовим і температурним навантаженням, в результаті яких в деяких областях конструкції виникають незворотні пластичні деформації. Після повного зняття навантаження в таких конструкціях виникають залишкові напруження і деформації, які можуть мати значний вплив на експлуатаційні властивості таких конструкцій. На даний час для розв'язування подібних задач використовуються часто наближені методи, основані на використанні теорем про розвантаження, розрахунково-експериментальні методи [1,2,3], а також методи, основані на теорії пластичної течії [4,5]. Останні математичні моделі досить складні і не завжди задовольняють необхідній точності при відслідковуванні поверхні навантаження в процесі пластичного деформування. Тому в роботі пропонується математична модель, основана на деформаційній теорії пластичності, яка узагальнена на випадок врахування розвантаження

Для розв'язування таких задач пропонується створення оригінального проблемно-орієнтованого математичного забезпечення, що дозволяє синтезування робочих програм з готових моделюючих блоків і інформаційних баз.

Для моделювання процесів пружно пластичного деформування пропонуємо використовувати теорію малих термопружно пластичних деформацій, узагальнену на випадок врахування розвантаження [6].

Фізичні співвідношення малих пружно пластичних деформацій можуть бути записані у вигляді [6]

$$\tilde{s}_{ij} = \frac{2G(T)}{\tilde{\psi}} \tilde{e}_{ij}, \quad \tilde{\psi} = 3G(T) \frac{\tilde{\varepsilon}_i}{\tilde{\sigma}_i}, \quad (1)$$

Величини $\tilde{\sigma}_i$ і $\tilde{\varepsilon}_i$ – інтенсивності напружень $\tilde{s}_{ij}$ і $\tilde{e}_{ij}$, які обчислюються за формулами

$$\tilde{s}_{ij} = s_{ij} - \frac{G}{G_1} s_{ij}^{(1)}, \quad \tilde{e}_{ij} = e_{ij} - e_{ij}^{(1)} \quad (2)$$

де індексом (1) позначені величини, які зафіксовані в момент початку розвантаження.

Очевидно, що якщо в даній точці ще розвантаження не спостерігалось, то величини $\tilde{\sigma}_i$ і $\tilde{\varepsilon}_i$ перетворюються в звичайні інтенсивності напружень σ_i і ε_i .

На етапі початкового деформування з ненапруженого і недеформованого стану в точках, в яких здійснюється активне навантаження, інтенсивність повної деформації дорівнює сумі інтенсивностей пружної і пластичної складових деформацій

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^p + \varepsilon_i^e.$$

Фізичні співвідношення (1) на цьому етапі мають вигляд

$$s_{ij} = \frac{2G(T)}{\psi} e_{ij}, \quad \psi = 3G(T) \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

Залежність між інтенсивностями напружень і деформацій на цьому етапі для більшості конструктивних матеріалів можна записати у вигляді

$$\sigma_i = \Phi'(\varepsilon_i, T) = \begin{cases} \sigma_s(T) \cdot \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{is}}, & \varepsilon_i \leq \varepsilon_{is} = \frac{\sigma_s(T)}{3G(T)}, \\ \sigma_s(T) \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{is}} \right)^\gamma, & \varepsilon_i > \varepsilon_{is}, \end{cases} \quad (4)$$

де $\sigma_s(T)$ – границя текучості матеріалу, яка залежить від температури. Аналогічну залежність $\tilde{\sigma}_i = \Phi(\tilde{\varepsilon}_i, T)$ можна отримати на основі принципу Мазінга [7], якщо його узагальнити на неізотермічні процеси деформування. В результаті такого узагальнення знайдемо

$$\tilde{\sigma}_i = \begin{cases} 2\sigma_s(T) \frac{\tilde{\varepsilon}_i}{\tilde{\varepsilon}_{is}}, & \tilde{\varepsilon}_i \leq \tilde{\varepsilon}_{is} = 2\varepsilon_{is}, \\ 2\sigma_s(T) \left(\frac{\tilde{\varepsilon}_i}{\tilde{\varepsilon}_{is}} \right)^\gamma, & \tilde{\varepsilon}_i > \tilde{\varepsilon}_{is}. \end{cases} \quad (5)$$

Фізичні співвідношення (2) можна подати розв'язаними відносно компонент тензора деформацій або відносно компонент тензора напружень

$$\varepsilon_{ij} = -\frac{\tilde{\psi}}{2G} \left[\frac{G}{G_1} \sigma_{ij}^{(1)} - \sigma_{ij} - \frac{(1+\nu)\tilde{\psi} - (1-2\nu)}{(1+\nu)\tilde{\psi}} \delta_{ij} \left(\frac{G}{G_m} \sigma_0^{(1)} - \sigma_0 \right) \right] - \delta_{ij} (\varepsilon^{T(1)} - \varepsilon^T) + \varepsilon_{ij}^{(1)},$$

$$\sigma_{ij} = \frac{G}{G_1} \sigma_{ij}^{(1)} - \frac{2G}{\tilde{\psi}} \left[\varepsilon_{ij}^{(1)} - \varepsilon_{ij} + \frac{\tilde{\psi}(1+\nu)}{1-2\nu} \delta_{ij} \left[(\varepsilon_0^{(1)} - \varepsilon_0) - (\varepsilon^{T(1)} - \varepsilon^T) \right] - \delta_{ij} (\varepsilon_0^{(1)} - \varepsilon_0) \right].$$

Пластичні деформації при цьому визначаються за формулами

$$\varepsilon_{ij}^p = \varepsilon_{ij}^{p(1)} - \frac{(\tilde{\psi}-1)}{\tilde{\psi}} \left[\varepsilon_{ij}^{(1)} - \varepsilon_{ij} + \delta_{ij} (\varepsilon_0^{(1)} - \varepsilon_0) \right].$$

За даною методикою розв'язано ряд практичних задач, зокрема таких як зварювання тонкостінних елементів конструкцій, наплавлення з метою зміцнення чи відновлювання експлуатаційних властивостей.

Література

1. Підстригач Я.С., Осадчук В.А., Марголін А.М. Залишкові напруження, довготривала міцність і надійність склоконструкцій.-К.:Наукова думка, 1991.-294с.
2. Прохоренко В.М., Прохоренко О.В. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях. – К.:НТУУ «КПІ», 2009.-266с.
3. Шаблій О., Пулька Ч., Михайлишин М. Дослідження залишкових напружень, деформацій та переміщень при індукційному наплавленні тонких елементів конструкцій з урахуванням комбінованого екранування теплових та електромагнітних полів. Вісник Тернопільського державного технічного університету. –Тернопіль.: Том 12, № 2, 2007 –С. 101-117.
4. Шевченко Ю.М., Прохоренко І.В. Теорія пружно-пластичних оболонок при неізотермічних процесах навантаження. –К.:Наукова думка, 1981.-293с.
5. Махненко В.І. Розрахункові методи дослідження кінетики зварних напружень і деформацій.-К.: Наук.думка,1976.-320 с.
6. Михайлишин М. Узагальнення принципу Мазінга на випадок неізотермічних процесів навантаження. Вісник Тернопільського державного технічного університету. –Тернопіль.: № 2, 2006 –С. 12-20.
7. Михайлишин М. Проблеми утворення залишкових напружень і деформацій при зварюванні. Вісник Тернопільського державного технічного університету. –Тернопіль.: Том 9, № 2, 2004 –С. 19-26.