

СЕКЦІЯ «ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА»

УДК 517.9:539.3

DOI 10.31651/2076-5886-2021-1-4-13

PACS 02.70.-c

СТЕБЛЯНКО Павло Олексійович,
доктор-фізико математичних наук,
професор, професор кафедри кібербезпеки
та інформаційних технологій, Університет
митної справи та фінансів
e-mail: caf-vmi@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0789-4409

ДЬОМІЧЕВ Костянтин Едуардович,
кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри комп'ютерних наук,
Київський міжнародний університет
e-mail: demichevk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3428-4094

ПЕТРОВ Олександр Дмитрович,
доктор філософії, молодший науковий
співробітник, Дніпровський національний
університет ім. О.Гончара
e-mail: caf-vmi@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8688-043X

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ЛОКАЛЬНО НАВАНТАЖЕНОЇ ПОЛОСИ З
ПСЕВДО-ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ВЕЛИКИХ
ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ**

У роботі проведено моделювання поведінки локально навантаженої послабленої полоси з псевдо-пружно-пластичного матеріалу при її нестационарному навантаженні. При цьому використано нелінійну феноменологічну модель яка описує властивості сплавів з пам'яттю форми та термо-псевдо-пластичну поведінку (ТППМ) матеріалу саме в точці. Використано діаграму псевдо-пружного матеріалу, що складається з трьох криволінійних ділянок. Такий підхід призводить до нестійкої діаграми напруження-деформація і для описання термомеханічної поведінки зразків різної форми необхідно мати рішення граничної задачі з урахуванням розвитку фронту деформації фазового перетворення. Здійснено порівняння результатів отриманих в геометрично лінійній і нелінійній постановках при великих пластичних деформаціях. Встановлено, що при пластичних деформаціях до 6% розбіжність результатів в точках локалізації деформації не перевищує 5%. При збільшенні значень пластичної деформації розбіжність результатів може значно зростати і в околі послаблення досягати 20%.

Ключові слова: феноменологічна модель, нелінійна модель матеріалу, матеріали з пам'яттю форм, термо-псевдо-пластичність, великі пластичні деформації.

Вступ

На даний час відомий цілий ряд моделей для опису термомеханічної поведінки функціонально-неоднорідних матеріалів, зокрема сплавів з пам'яттю форми (СПФ) [3; 4]. Більшість з них будуються на підставі класичних уявлень, тобто ставлять собі за

мету безпосереднє описати експериментальні дані, отримані на різних макрозразках при простому і складному навантаженні. Однак, як встановлено в експериментальних дослідженнях поведінка матеріалу в точці тіла в загальному випадку може бути відмінною від поведінки зразка вцілому [5]. В розглянутих задачах розроблено числову процедуру розрахунку діаграми матеріалу, яка представляє собою криву, що огинає сімейство діаграм матеріалу, побудованих для певних законів зміни швидкості фронту розриву деформацій.

Мета роботи полягає у застосуванні **нелінійної** феноменологічної моделі [7], яка описує властивості сплавів з пам'яттю форми та термо-псевдо-пластичну поведінку (ТППМ) матеріалу саме в точці, до задачі моделювання локально навантаженої полоси з псевдо-пружно-пластичного матеріалу при великих пластичних деформаціях. Порівняти результати моделювання в геометрично лінійній і нелінійній постановках при великих пластичних деформаціях.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо двовимірну задачу про нестационарне деформування полоси із сплаву NiTi з малими послабленнями. Нехай геометрія полоси $x \in [-H/2; H/2]$, $y \in [-L/2; L/2]$. Для послаблюючого розрізу запишемо: $y \in [-l/2; l/2]$, $x \in [-H/2; -H/2+l] \cup [H/2-l; H/2]$.

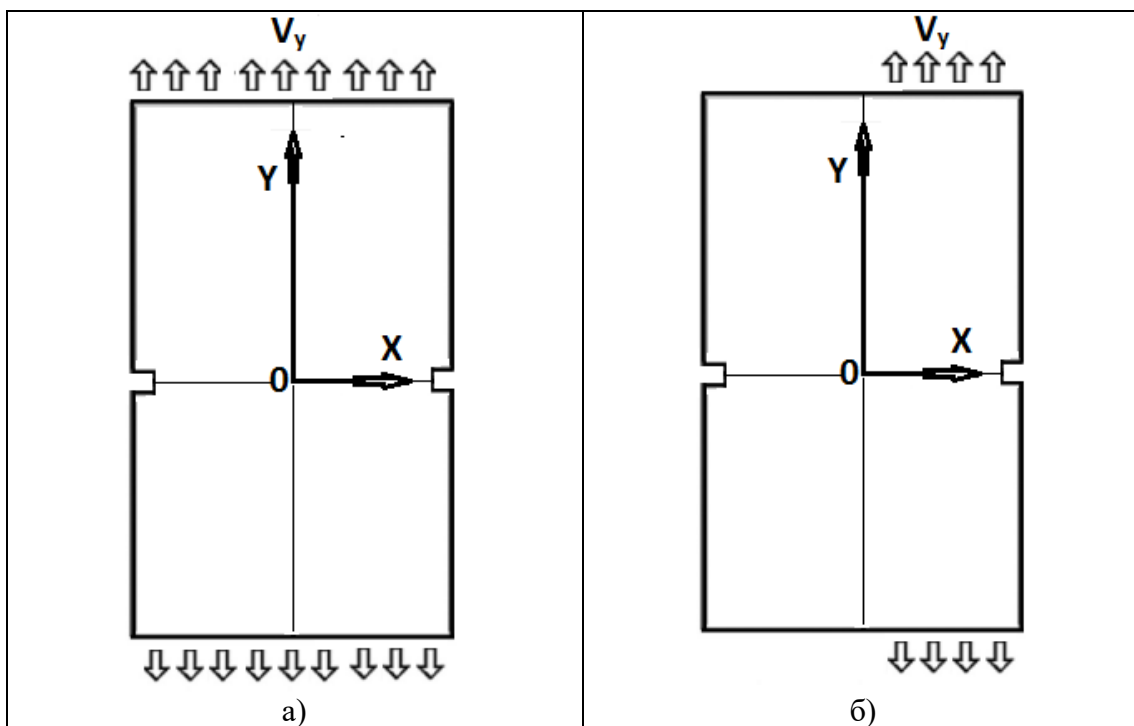


Рисунок 1. Геометрія полоси з послабленнями

На краях з послабленнями ($x = -H/2, x = H/2$) поверхня полоси вільна від напруження. Поверхні самого послаблення полоси також вільні від напруження.

Для всіх точок полоси, для яких $y = 0$ швидкість вертикального переміщення v_y дорівнює нулю. На краї $y = L/2, x \in [H/2 - x_*, H/2]$ задається ненульова швидкість

переміщення $v_y = V_0$, яка змінюється по відомому закону. Для іншого краю $y = -L/2, x \in [H/2 - x_*]$ маємо $v_y = -V_0$.

Шуканими величинами будуть дев'ять складових вектора \vec{W} : швидкості переміщень v_x, v_y ; складові тензора напруження $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}$; деформації $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ і температура T .

У випадку плоскої деформації ($u_3 \equiv 0, v_3 \equiv 0, \partial(\dots)/\partial\alpha_3 \equiv 0$) при використанні ортогональної декартової системи координат ($H_1 = H_2 = H_3 = 0$) для геометрично лінійних складових тензора деформації отримаємо:

$$\begin{aligned} e_{11} &= \frac{\partial u_1}{\partial x}; e_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial y}; e_{33} = 0; e_{12} = \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial u_1}{\partial y}; e_{23} = 0; e_{31} = 0; \\ \omega_1 &= 0; \omega_2 = 0; 2\omega_3 = \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\partial u_1}{\partial y}. \end{aligned} \quad (1)$$

Тензор деформації і складові вектора переміщень пов'язані такими нелінійними співвідношеннями [1]:

$$\varepsilon_{11} = e_{11} + \frac{1}{2} \left[e_{11}^2 + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right)^2 \right], \varepsilon_{22} = e_{22} + \frac{1}{2} \left[e_{22}^2 + \left(\frac{e_{21}}{2} + \omega_3 \right)^2 \right], \varepsilon_{33} = 0, \quad (2)$$

$$\varepsilon_{12} = e_{12} + e_{11} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) + e_{22} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right), \varepsilon_{23} = 0, \varepsilon_{31} = 0.$$

З урахуванням цього після диференціювання за часом в геометрично нелінійному випадку для швидкостей деформацій при плоскій деформації можна записати:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_{11}}{\partial t} &= (1 + e_{11}) \frac{\partial v_1}{\partial x} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_2}{\partial x}, \\ \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial t} &= \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \frac{\partial v_1}{\partial y} + (1 + e_{22}) \frac{\partial v_2}{\partial y}, \\ \frac{\partial \varepsilon_{33}}{\partial t} &= 0, \frac{\partial \varepsilon_{31}}{\partial t} = 0, \frac{\partial \varepsilon_{23}}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial \varepsilon_{33}}{\partial t} &= (1 + e_{22}) \frac{\partial v_2}{\partial x} + (1 + e_{11}) \frac{\partial v_1}{\partial y} + \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \frac{\partial v_1}{\partial x} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_2}{\partial y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння руху мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_1}{\partial t} &= \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} B_1, \\ \frac{\partial v_2}{\partial t} &= \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} B_2, \end{aligned} \quad (4)$$

де:

$$B_1 = K_1 + \frac{\partial}{\partial x} \left[\sigma_{11}^0 \frac{\partial}{\partial x} (u_1 + u_2 + u_3) \right],$$

$$B_2 = K_2 + \frac{\partial}{\partial y} \left[\sigma_{22}^0 \frac{\partial}{\partial y} (u_1 + u_2 + u_3) \right].$$

Після виключення з визначальних фізичних співвідношень швидкостей деформацій у випадку плоскій деформації отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} = & \left\{ a_{1111} (1 + e_{11}) + a_{1112} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{1112} (1 + e_{11}) + a_{1122} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \\ & + \left\{ a_{1111} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1112} (1 + e_{22}) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{1122} (1 + e_{22}) + a_{1112} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial y} + b_*, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} = & \left\{ a_{2211} (1 + e_{11}) + a_{2212} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{2212} (1 + e_{11}) + a_{2222} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \\ & + \left\{ a_{2211} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{2212} (1 + e_{22}) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{2222} (1 + e_{22}) + a_{2212} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial y} + b_*, \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial t} = & \left\{ a_{1211} (1 + e_{11}) + a_{1212} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{1212} (1 + e_{11}) + a_{1222} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \\ & + \left\{ a_{1211} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1212} (1 + e_{22}) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial x} + \\ & + \left\{ a_{1222} (1 + e_{22}) + a_{1212} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial y}. \end{aligned} \tag{5}$$

В результаті повна система для цієї задачі має вигляд:

$$\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} = A_1^N \frac{\partial \vec{W}}{\partial x} + A_2^N \frac{\partial \vec{W}}{\partial y} + \vec{B}. \tag{6}$$

$$W_1 = v_x, W_2 = v_y, W_3 = \sigma_x, W_4 = \sigma_y, W_5 = \sigma_{xy}.$$

$$A_i^N = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{\delta_{i1}}{\rho} & 0 & \frac{\delta_{i2}}{\rho} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\delta_{i2}}{\rho} & \frac{\delta_{i1}}{\rho} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{71} & \alpha_{72} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\alpha_{41} = \left\{ a_{1111} (1 + e_{11}) + a_{1112} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{1112} (1 + e_{11}) + a_{1122} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i2};$$

$$\alpha_{42} = \left\{ a_{1111} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1112} (1 + e_{22}) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{1112} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1122} (1 + e_{ee}) \right\} \delta_{i2};$$

$$\alpha_{51} = \left\{ a_{2211} (1 + e_{11}) + a_{2212} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{2212} (1 + e_{11}) + a_{2222} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i2};$$

$$\alpha_{52} = \left\{ a_{2211} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{2212} (1 + e_{22}) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{2212} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{2222} (1 + e_{ee}) \right\} \delta_{i2};$$

$$\alpha_{71} = \left\{ a_{1211} (1 + e_{11}) + a_{1212} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{1212} (1 + e_{11}) + a_{1222} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \delta_{i2};$$

$$\alpha_{72} = \left\{ a_{1211} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1212} (1 + e_{22}) \right\} \delta_{i1} + \left\{ a_{1212} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{1222} (1 + e_{ee}) \right\} \delta_{i2}.$$

Температуру в точках тіла визначимо як розв'язок рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + W_*. \quad (7)$$

Через W_* позначена функція, що враховує тепло, яке виникає в тілі при фазовому переході з точок A в точки B на діаграмі матеріалу.

Введемо сітки за часом і по координатам:

$$\omega_t = \{t_p; t_{p+1} = t_p + \tau; t_0 = 0; p = 0; 1; 2; \dots\},$$

$$\omega_h = \left\{ \begin{array}{l} x_i; x_{i+1} = x_i + h_1; x_0 = 0; h_1 = \frac{H}{n}; i = 0; 1; 2; \dots; n \\ y_j; y_{j+1} = y_j + h_2; y_0 = 0; h_2 = \frac{L}{m}; j = 0; 1; 2; \dots; m \end{array} \right\}. \quad (8)$$

В якості розрахункової візьмемо наступну формулу ітераційної процедури і перепишемо її так

$$\begin{aligned} (\bar{w}^{p+1})_{m+1} &= \left[\bar{w}^p + \tau (\bar{L}_{12} + \bar{B}^p) \right]_m, \\ \bar{L}_{12} &= \Lambda_1 (\alpha_{11} \bar{w}^{p+1} + \alpha_{12} \bar{w}^p) + \Lambda_2 (\alpha_{21} \bar{w}^{p+1} + \alpha_{22} \bar{w}^p). \end{aligned} \quad (9)$$

Температурне поле в полосі визначаємо за допомогою двовимірного варіанта ітераційної процедури:

$$\begin{aligned} (T^{p+1})_{m+1} &= \left\{ T^p + \tau M_{12} + W_*^p \right\}_m, \\ M_{12} &= P_1 (\alpha_{11} T^{p+1} + \alpha_{12} T^p) + P_2 (\alpha_{21} T^{p+1} + \alpha_{22} T^p). \end{aligned} \quad (10)$$

Зазначимо, що після визначення основних невідомих, окремо розшукуються шляхом інтегрування за часом решта невідомих функцій:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial t} &= \left\{ a_{3311} (1 + e_{11}) + a_{3312} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial x} + \\ &+ \left\{ a_{3312} (1 + e_{11}) + a_{3322} \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \\ &+ \left\{ a_{3311} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + a_{3312} (1 + e_{22}) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial x} + \\ &+ \left\{ a_{3322} (1 + e_{22}) + a_{3312} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \right\} \frac{\partial v_2}{\partial y} + b_*, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = (1 + e_{11}) \frac{\partial v_x}{\partial x} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_y}{\partial x}; \quad \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial t} = \left(\frac{e_{21}}{2} - \omega_3 \right) \frac{\partial v_x}{\partial y} + (1 + e_{22}) \frac{\partial v_y}{\partial y};$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial t} = (1 + e_{22}) \frac{\partial v_y}{\partial x} + (1 + e_{11}) \frac{\partial v_x}{\partial y} + \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \frac{\partial v_x}{\partial x} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_y}{\partial y}.$$

Розглянемо числові результати, отримані для полоси при $L = 2H$, $h_1 = h_2 = H/10, \tau = 0,01$.

На рисунках 2 і 3 для відповідних моментів часу показано поле інтенсивності деформації, яке має місце в полосі при різних видах навантаження.

На рисунку 2 а) показано поле інтенсивності деформації при симетричному навантаженні (рисунок 2 а)) для безрозмірного моменту часу ($t = 30 = 3000\tau$). В момент $t = 50$ розтягування полоси зупинялось, але в тілі і далі йшов перерозподіл навантаження в режимі установлення. На рисунку 2 б) показано поле інтенсивності деформації (рисунок 1 а)) для $t = 70$.

На рисунку 3 а) показано поле інтенсивності деформації при несиметричному навантаженні (рисунок 3 б)) для безрозмірного моменту часу ($t = 30 = 3000\tau$). В момент $t = 50$ розтягування полоси зупинялось, але в тілі і далі йшов перерозподіл навантаження в режимі установлення. На рисунку 3 б) показано поле інтенсивності деформації (рисунок 1 а)) для $t = 70$.

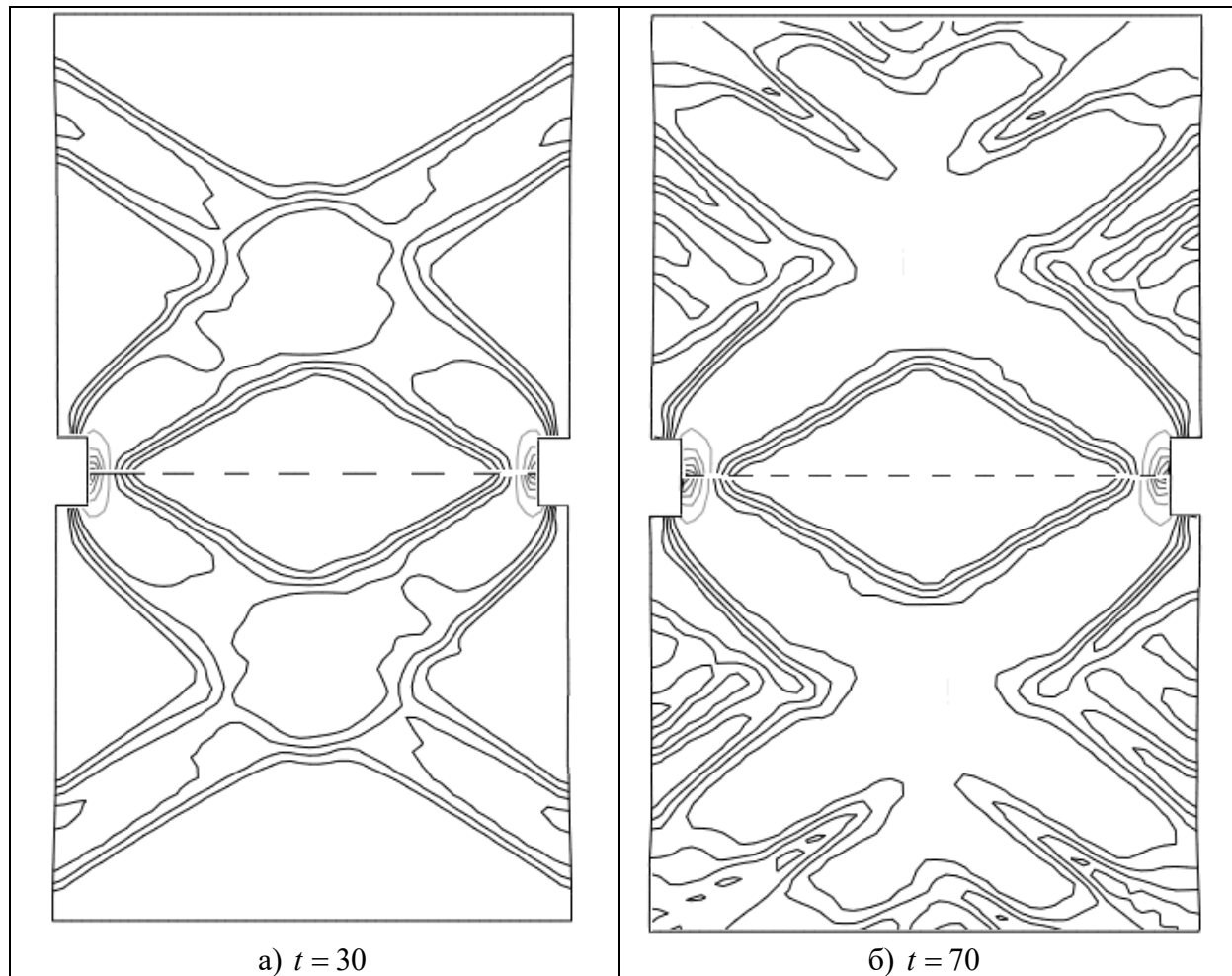


Рисунок 2. Поле інтенсивності деформації при симетричному навантаженні

Висновки

Моделювання поведінки з псевдо-пружно-пластичного матеріалу при великих пластичних деформаціях вимагає застосування нелінійних математичних моделей, які з більшою точністю могли б описати та спрогнозувати поведінку такого тіла. В роботі проведено моделювання поведінки локально навантаженої послабленої полоси з псевдо-пружно-пластичного матеріалу при її нестаціонарному навантаженні. Авторами, до розв'язання вище вказаної задачі, застосовано нелінійну феноменологічну модель матеріалу, яка дозволяє описати ряд експериментальних даних на різних зразках при різних умовах. Проведено порівняння результатів отриманих в геометрично лінійній і нелінійній постановках при великих пластичних деформаціях. Чисельно порівняно поля інтенсивності при симетричному і несиметричному навантаженні. Встановлено, що при пластичних деформаціях до 6% (малі деформації) розбіжність результатів в точках локалізації деформації не перевищує 5%. При збільшенні значень пластичної деформації (більше 7%, великі деформації) розбіжність результатів може значно зростати і в околі можливого створення шийки досягати 20%.

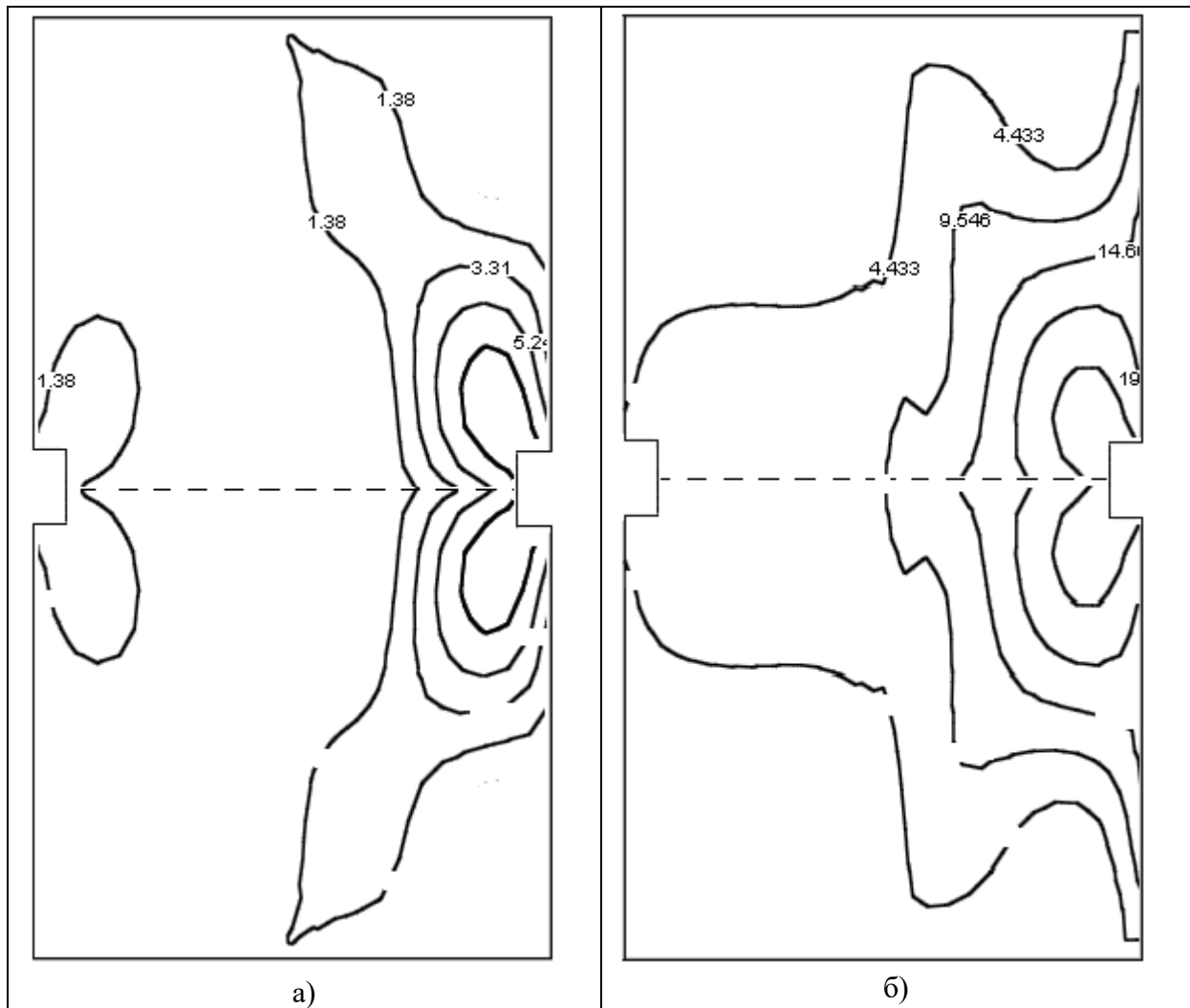


Рисунок 3 Поле інтенсивності деформації при несиметричному навантаженні

Список використаної літератури:

1. Domichev K. Modeling the behavior of the body with pseudo-elastic-plastic material at non-stationary loading / K. Domichev, P. Steblyanko, A. Petrov // *Металофізика та новітні технології*, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, 2021 – Том 43, випуск 1 – с. 107-128.
2. Стеблянюк П.А. Методи розщеплення в просторових задачах теорії пластичності /П.А. Стеблянюк – Київ: Наукова думка, 1998. – 304 с.
3. Abeyaratne R., Knowles J.K. Evolution of phase transitions /R. Abeyaratne, J.K. Knowles– Cambridge University Press, 2006. – 258 p.
4. Shaw J. A., Kyriakides S. Thermomechanical aspects of NiTi. / J. A Shaw, S. Kyriakides – *Mechanics and Physics of Solids*, 1995. – No 43, p.1243-1281.
5. Shaw, J. A., Kyriakides, S. On the nucleation and propagation of phase transformation fronts in a NiTi alloy / J. A Shaw, S. Kyriakides – *Acta Materialia*, 1997. – No 45, p. 683-700.
6. Petrov A. Development of the method with enhanced accuracy for solving problems from the theory of thermo-pseudoelastic-plasticity / A. Petrov, Yu. Chernyakov, P. Steblyanko, K. Domichev, V. Haydurov – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4/7 (94). P. 25-33.
7. Дьомічев К.Е. Нелінійна феноменологічна модель поведінки функціонально-неоднорідних матеріалів / К.Е. Дьомічев, П.О. Стеблянюк, О.Д. Петров // *Вісник Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького*. Серія Прикладна математика. Інформатика №1(1). – 2020–С. 4-12.
8. Steblyanko P. Phenomenological Model of Pseudo-Elastic-Plastic Material Under Nonstationary Combining Loading / P. Steblyanko, Y. Chernyakov, A. Petrov, V. Loboda – *Structural Integrity, Volume 8, Theoretical, Applied and Experimental Mechanics*, Springer Verlag, 2019. – P. 205-208.

9. Петров О.Д. Комп'ютерне моделювання поведінки стрижня з трилінійного двофазного матеріалу при розтягуванні / О.Д. Петров – Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей МНІПК (ISBN 978-617-7468-26-3) – 2018. – Івано-Франківськ. – 2018. – С. 234-237.

References:

1. Domichev K., Steblyanko P., Petrov A. (2021) Modeling the behavior of the body with pseudo-elastic-plastic material at non-stationary loading – Metallophysics and new technologies, Institute of Metal Physics, 107-128.
2. Steblyanko P.A. (1998). Methods of decomposition in space problems of the theory of plasticity. – Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
3. Abeyaratne R., Knowles J.K. (2006) Evolution of phase transitions. – Cambridge University Press
4. Shaw, J.A., Kyriakides S. (1995) Thermomechanical aspects of NiTi. J. Mechanics and Physics of Solids 43, 1243-1281
5. Shaw, J.A., Kyriakides S. (1997) On the nucleation and propagation of phase transformation fronts in a NiTi alloy. Acta Materialia
6. Petrov A., Chernyakov Yu., Steblyanko P., Domichev K., Haydurov V. (2018). Development of the method with enhanced accuracy for solving problems from the theory of thermo-pseudoelastic-plasticity. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.
7. Domichev K., Steblyanko P., Petrov A. (2020) Visnyk of Cherkasy National University named after B. Khmelnytsky. Applied Mathematics Series. Computer Science, 4-12 [in Ukraine]
8. Steblyanko P. Y. Chernyakov, A. Petrov, V. Loboda (2019) Phenomenological Model of Pseudo-Elastic-Plastic Material Under Nonstationary Combining Loading Theoretical, Applied and Experimental Mechanics, Springer Verlag.
9. Petrov A.D. (2018) Computer modeling of the shearing behavior of trilinear two-phase material during stretching. Information Technologies and Computer Modeling; materials of articles Annual Intern. Scientific [in Ukraine]

STEBLYANKO Pavel,

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Department of Cybersecurity and Information Technology, University of Customs and Finance, Ukraine

DOMICHEV Konstantin,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Computer Science, Kyiv International University, Ukraine

PETROV Alexander,

Doctor of Philosophy (PhD), Junior Researcher, Department of Theoretical and Computer Mechanics Dnieper National University Named After Oles Honchar, Ukraine

SIMULATION OF LOCALLY LOADED STRIP BEHAVIOR FROM PSEUDO-ELASTIC-PLASTIC MATERIAL UNDER LARGE PLASTIC DEFORMATIONS

Summary. Introduction. Currently, a number of models are known to describe the thermomechanical behavior of functionally inhomogeneous materials, in particular alloys with shape memory (SPF) [3; 4]. Most of them are based on classical ideas, ie aim to directly describe the experimental data obtained on different macrosamples under simple and complex loads. However, as established in experimental studies, the behavior of the material at a point in the body in the General case may be different from the behavior of the sample as a whole [5]. In the considered problems the numerical procedure of calculation of the diagram of material which represents a curve which surrounds a family of diagrams of the material constructed for certain laws of change of speed of a front of rupture of deformations is developed.

Purpose. The aim of the work is to apply a nonlinear phenomenological model, which describes the properties of alloys with shape memory and thermo-pseudo-plastic behavior (TPPM) of the material at the point to the problem of modeling a locally loaded strip of pseudo-elastic-plastic material at large plastic deformations. Compare the results of modeling in geometrically linear and nonlinear formulations for large plastic deformations.

Results. The behavior of the locally loaded weakened strip of pseudo-elastic-plastic material under its non-stationary loading is modeled in the work. The authors used a nonlinear phenomenological model of the material to solve the above problem, which allows to describe a number of experimental data on different samples under different conditions. A comparison of the results obtained in geometrically linear and nonlinear formulations with large plastic deformations.

Conclusion. Modeling the behavior of pseudo-elastic-plastic material with large plastic deformations requires the use of nonlinear mathematical models that could more accurately describe and predict the behavior of such a body. The behavior of the locally loaded weakened strip of pseudo-elastic-plastic material under its non-stationary loading is modeled in the work. The authors used a nonlinear phenomenological model of the material to solve the above problem, which allows to describe a number of experimental data on different samples under different conditions. A comparison of the results obtained in geometrically linear and nonlinear formulations with large plastic deformations. Numerically compared intensity fields at symmetric and asymmetric loading. It is established that at plastic deformations up to 6% (small deformations) the discrepancy of results in points of localization of deformation does not exceed 5%. With increasing values of plastic deformation (more than 7%, large deformations), the discrepancy of the results can increase significantly and in the vicinity of the possible creation of the neck to reach 20%.

Keywords: phenomenological model, nonlinear model of material, materials with memory of forms, thermo-pseudo-plasticity, large plastic deformations.

Одержано редакцією 07.10.2021 р.
Прийнято до публікації 24.11.2021 р.

UDC 519.6, 556.54

DOI 10.31651/2076-5886-2021-1-13-22

PACS 43.28.-g;92.60.Sz

LUKIANOV Petro,
PhD in Physics and Mathematics, Senior
Researcher, Associate Professor, Department
of Aviation and Rocket Engineering, Institute
of Aerospace Engineering, NTU “KPI”
e-mail: luk_ptr@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-7584-1491

NUMERICAL-ANALYTICAL METHOD FOR THE PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL SAFETY

In problems of modeling pollution of water and atmospheric resources of the Earth's ecosystems, models of potential flow are often used. Recently, considerable attention has also been paid to protecting metropolis from atmospheric pollution with acoustic noise. Very often, without focusing on local flow features, the Laplace equation is used to describe the potential equation motion of a fluid. Acoustic problems are modeled based on the Helmholtz equation.

In the work presented below, the features of the numerical-analytical method for the Helmholtz and Laplace equations are considered. The sound potential is a rapidly oscillating function given at the boundary of the computational domain. In addition, the numerically-analytical method peculiarities are presented for the Laplace equation that uses the expansion of the boundary condition in a Fourier series in eigenvalues of the Sturm-Liouville problem. Despite the fact that the data presented in the work were obtained for canonical domains, the scheme of the method implies the possibility of using it for domains with an arbitrary curvilinear boundary. The numerical-analytical method proposed in the paper allows for low computational costs to solve numerically the problems for the Laplace equation and the acoustic equations. The results of the research conducted can be used as new information technology to address the environmental security challenges of water and air resources.

Keywords: Computational modeling, Numerical method, Geo-environmental monitoring.

Introduction

One of the major problems of today is the problem of preventing pollution of the Earth's water and air resources. It is directly related to the geo-environmental monitoring of the planet. To prevent global man-made disasters, scientists are developing mathematical models that describe the processes of occurrence and spread of pollution in aquatic environments.