

ТРИСТУПЕНЕВА СХЕМА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З ПРОМІЖНИМ ЗНИЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ПІСЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ГРАНИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто модель триступеневого високотемпературного пластичного деформування на основі підходу спадкового типу. Отримано критеріальні нерівності для оцінки ресурсу пластичності. Встановлено умови часткового відновлення ресурсу на другій ступені процесу.

Ключові слова: риступенева деформування; високотемпературна пластичність; модель спадкового типу; ресурс пластичності; відовлення ресурсу пластичності.

Під триступеневим високотемпературним деформуванням розумітимемо процес пластичної деформації, що є стаціонарним у межах кожного з трьох етапів. Зокрема, функція інтенсивності швидкості деформації є кусочно-сталою і має три інтервали з фіксованим значенням швидкості.

Формально:

$$\dot{\epsilon} = \begin{cases} \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\epsilon}_2 c^{-1}, t_1 < t \leq t_2; \\ \dot{\epsilon}_3 c^{-1}, t_2 < t \leq t_3. \end{cases} \quad (1)$$

де $\dot{\epsilon}$ - інтенсивність швидкостей деформацій;

$\dot{\epsilon}_k$ - її сталі значення на k -й ступені ($k=1,2,3$);

t - час;

t_k - межі часових інтервалів ($t_0 = 0 \leq t_1 \leq t_2 \leq t_3$).

На основі моделі спадкового типу для триступеневого високотемпературного деформування може бути отримано критеріальну нерівність [1, 2]:

$$\psi = (\psi_1 + \psi_2 \alpha_{21} + \psi_3 \alpha_{31})^n - (\psi_2 \alpha_{21} + \psi_3 \alpha_{31})^n + (\psi_2 + \psi_3 \alpha_{32})^n - (\psi_3 \alpha_{32})^n + (\psi_3)^n \leq 1, \quad (2)$$

де $0 \leq \psi \leq 1$ - величина пошкоджень;

$\psi_k = \frac{t_k - t_{k-1}}{t_{*k}}$ - використаний ресурс пластичності на k -й ступені ($k=1,2,3$);

$\alpha_{ij} = \frac{t_{*i}}{t_{*j}}, i=2,3; j=1,2$;

t_{*k} ;.- граничні значення часу до руйнування під час стаціонарного деформування зі швидкістю деформацій $\dot{\epsilon}_k$ ($k=1,2,3$);

n - матеріальна стала ($0 < n < 1$).

Величини використаних ресурсів пластичності мають задовольняти певні нерівності, зокрема,

$$0 \leq \psi_1 \leq 1;$$

Нерівності для ψ_2, ψ_3 розглянемо стосовно окремого типу триступеневого деформування.

$$\dot{\epsilon} = \begin{cases} \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, 0 \leq t \leq t_1 \\ \dot{\epsilon}_2 c^{-1}, t_1 < t \leq t_2, \\ \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, t_2 < t \leq t_3 \end{cases} \quad (3)$$

швидкість деформацій на другій ступені менша швидкості деформацій першої ступені

$$0 < \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} < 1, (\alpha_{21} > 1), \quad (4)$$

на першій ступені досягається гранична деформація

$$t_1 = t_{*1}. \quad (5)$$

Тоді для другої ступені має виконуватися нерівність

$$\psi(\psi_2) = (1 + \psi_2 \alpha_{21})^n - \psi_2^n (\alpha_{21}^n - 1) \leq 1. \quad (6)$$

Знайдемо похідну

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} &= n \left[\alpha_{21} (1 + \psi_2 \alpha_{21})^{n-1} - (\alpha_{21}^n - 1) \psi_2^{n-1} \right] \\ \lim_{\psi_2 \rightarrow +0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} &< 0 \quad \lim_{\psi_2 \rightarrow 1+0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} > 0, \psi(\psi_2 = \bar{\psi}_2) \in (0, 1) \end{aligned} \quad (7)$$

Доведено справедливості нерівностей

$$\lim_{\psi_2 \rightarrow +0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} < 0, \quad \lim_{\psi_2 \rightarrow 1+0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} > 0.$$

Отже функція (6) має мінімум при деякому значенні $\bar{\psi}_2, \bar{\psi}_2 \in (0, 1)$. Доведено, що

$$\psi(\psi_2 = \bar{\psi}_2) \in (0, 1).$$

Це означає, що на початковій ділянці другої ступені процес заліковування накопичених пошкоджень переважає над їх подальшим накопиченням. У результаті відбувається часткове відновлення ресурсу пластичності.

За умови досягнення граничного стану на третій ступені, тобто, $t_3 = t_*$ ($\psi_3 = \psi_{*3}$), на основі (2) можемо записати

$$(\psi_1 + \psi_2 \alpha_{21} + \psi_{*3})^n - (\psi_2 \alpha_{21} + \psi_{*3})^n + \left(\psi_2 + \frac{\psi_{*3}}{\alpha_{21}} \right)^n - (\psi_{*3})^n \left[\frac{1}{(\alpha_{21})^n} + 1 \right] = 1. \quad (8)$$

Результати розрахунків, наведених на рисунку, свідчать, що ефект часткового відновлення ресурсу пластичності залежить від властивостей матеріалу, що відображаються в моделі через матеріальні сталі α_{21} та n . При цьому вирішальний вплив має значення параметра α_{21} .

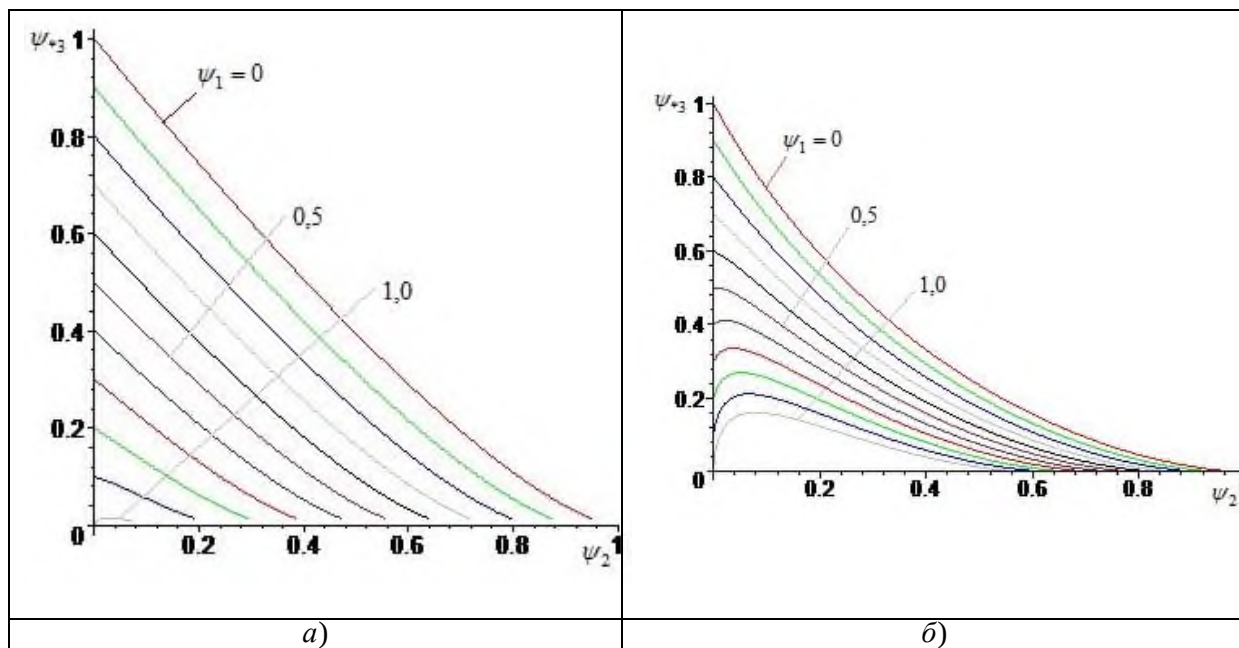


Рис. Залежність залишкового ресурсу пластичності на третій ступені від витраченого ресурсу на другій ступені для різних значень ресурсу, витраченого на першій ступені, розрахунок за формулою (8): $n=0,6$; а) $\alpha_{21} = 2$; б) $\alpha_{21} = 12$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mikhalevich V. M., Kraevskiy V. O. Variational problems for damage accumulation models heritable type // The nonlinear analysis and application 2009: Materials of the international scientific conference (April 02-04th 2009, Kyiv). – Kyiv: NTUU "KPI", 2009. – p. 109-110.
2. Михалевич В. М. Формулювання варіаційної задачі для моделі накопичення пошкоджень при гарячому деформуванні [Текст] / В. М. Михалевич, В. О. Краєвський // Обробка матеріалів тиском : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2009. – № 2(21). – С. 12-16.

Володимир Маркусович Михалевич — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ymykhail@gmail.com

Тютюнник Оксана Іванівна — доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tutunnik.oksana@gmail.com

Добранюк Юрій Володимирович — доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dobranukyuriy@gmail.com

THREE-STAGE HIGH-TEMPERATURE DEFORMATION SCHEME WITH INTERMEDIATE STRAIN RATE REDUCTION AFTER REACHING THE CRITICAL STRAIN

Abstract

A model of three-stage high-temperature plastic deformation based on a hereditary-type approach is presented. Criterion inequalities for assessing the plasticity resource are derived. Conditions enabling partial recovery of the plasticity resource during the second stage are established

Keywords: three-stage deformation; high-temperature plasticity; hereditary-type model; plasticity resource; damage healing

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, mykhalevych@vntu.edu.ua

Tiutunnyk Oksana I. — Cand. Sc., Associate Professor of the Department of Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, tutunnik.oksana@gmail.com

Dobraniuk Yurii V. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dobranukyuriy@gmail.com