Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

И. Ю. Кадашевич, Ю. И. Кадашевич, А. М. Пейсахов, С. П. Помыткин, Теория пластического течения с перекрестными связями, учитывающая дилатансию и вид напряженного состояния, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2002, выпуск 16, 73–74

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu99>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.197.130.99

26 апреля 2023 г., 15:51:07

ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ СВЯЗЯМИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ДИЛАТАНСИЮ И ВИД НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Развивается теория пластического течения с перекрестными связями, позволяющая описать достаточно тонкие эффекты сложного нагружения, включая проявление эффекта памяти формы. В предлагаемой работе приводятся обобщающие соотношения теории, в которой дополнительно учитываются эффекты дилатансии и влияние вида напряженного состояния. Такой вариант позволяет расширить возможности теории пластичности с перекрестными связями.

Определяющие соотношения для простейшего варианта двухповерхностой теории пластического течения с перекрестными связями имеют вид [1, 2]

$$\begin{aligned}\frac{d\varepsilon_{ij}^{p(1)}}{d\lambda_1} &= \frac{T_{ij}'^{(1)}}{T_i^{(1)}}; \quad \frac{d\varepsilon_{ij}^{p(2)}}{d\lambda_2} = \frac{T_{ij}'^{(2)}}{T_i^{(2)}}; \\ T_{ij}'^{(1)} &= \sigma_{ij}' - C_{11}\varepsilon_{ij}^{p(1)} - C_{12}\varepsilon_{ij}^{p(2)}; \\ T_{ij}'^{(2)} &= \sigma_{ij}' - C_{21}\varepsilon_{ij}^{p(1)} - C_{22}\varepsilon_{ij}^{p(2)}; \\ T_i^{(1)} &= \sqrt{T_{ij}'^{(1)}T_{ij}'^{(1)}}; \quad T_i^{(2)} = \sqrt{T_{ij}'^{(2)}T_{ij}'^{(2)}}; \\ d\lambda_1 &= \sqrt{d\varepsilon_{ij}^{p(1)}d\varepsilon_{ij}^{p(1)}}; \quad d\lambda_2 = \sqrt{d\varepsilon_{ij}^{p(2)}d\varepsilon_{ij}^{p(2)}}; \\ <\varepsilon_{ij}^p> &= \frac{\varepsilon_{ij}^{p(1)} + \varepsilon_{ij}^{p(2)}}{2}.\end{aligned}$$

Здесь σ_{ij}' – девиатор тензора напряжений; ε_{ij}^p – девиатор тензора неупругих деформаций; $\varepsilon_{ij}^{p(1)}$, $\varepsilon_{ij}^{p(2)}$ – девиаторы тензоров локальных неупругих деформаций; $< >$ – знак осреднения; C_{ij} – весовые квазистатистические коэффициенты, характеризующие вклад и взаимодействие локальных поверхностей текучести, причем $\sum_{i,j} C_{ij} = 1$.

При учете дилатансии уравнения локальных поверхностей текучести могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned}T_i^{(1)} + \alpha T_0^{(1)} &= \sqrt{2}\sigma_T; \\ T_i^{(2)} + \alpha T_0^{(2)} &= \sqrt{2}\sigma_T; \\ T_0^{(1)} &= \sigma_0 + k_1\varepsilon_0^{p(1)} + k_2\varepsilon_0^{p(2)}; \\ T_0^{(2)} &= \sigma_0 + k_3\varepsilon_0^{p(1)} + k_4\varepsilon_0^{p(2)}; \\ d\varepsilon_0^{p(1)} &= \alpha d\lambda_1; \quad d\varepsilon_0^{p(2)} = \alpha d\lambda_2,\end{aligned}$$

где σ_0 , $T_0^{(1)}$, $T_0^{(2)}$, $\varepsilon_0^{p(1)}$, $\varepsilon_0^{p(2)}$ – первые инварианты тензоров напряжений, локальных активных напряжений и локальных неупругих деформаций, соответственно; σ_T – предел текучести, а α и k_i – параметры материала.

При необходимости в теорию легко можно ввести:

- различие пределов текучести для каждой поверхности текучести ($\sigma_T^{(1)} \neq \sigma_T^{(2)}$);
- зависимость пределов текучести от длины дуги траектории неупругого деформирования: $\sigma_T^{(1)} = \sigma_T^{(1)}(\lambda_1)$ и $\sigma_T^{(2)} = \sigma_T^{(2)}(\lambda_2)$.

Однако расчеты показывают, что уже простейший вариант теории способен описать основные эффекты, связанные с проявлением эффекта памяти формы.

Группа соотношений теории неупругости с перекрестными связями, учитывающая влияние вида напряженного состояния, основана на расширении теории, предложенной в [3]. Эти уравнения запишем следующим образом:

$$\frac{d\varepsilon_{ij}^{p(1)}}{d\lambda_1} = \frac{L_{ij}^{(1)}}{L_i^{(1)}}; \quad \frac{d\varepsilon_{ij}^{p(2)}}{d\lambda_2} = \frac{L_{ij}^{(2)}}{L_i^{(2)}};$$

$$\frac{L_{ij}^{(1)}}{L_i^{(1)}} = \cos \omega_1 \frac{T_{ij}'^{(1)}}{T_i^{(1)}} - \sin \omega_1 \frac{T_{ij}^{*(1)}}{T_i^{(1)}};$$

$$\frac{L_{ij}^{(2)}}{L_i^{(2)}} = \cos \omega_2 \frac{T_{ij}'^{(2)}}{T_i^{(2)}} - \sin \omega_2 \frac{T_{ij}^{*(2)}}{T_i^{(2)}};$$

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \frac{\varphi_1'(\beta)}{\varphi_1(\beta)}; \quad \operatorname{tg} \omega_2 = \frac{\varphi_2'(\beta)}{\varphi_2(\beta)}; \quad \omega_1 \neq \omega_2;$$

$$T_{ij}^* = T_{ik}' T_{kj}'; \quad \sin 3\beta = -\sqrt{6} \frac{T_{ij}' T_{jk}' T_{ki}'}{T_i^3},$$

причем функции $\varphi(\beta)$ выбираются в форме (μ_1, μ_2 - константы материала):

$$\varphi(\beta) = \begin{cases} \exp[\mu_1(\beta - \beta_*)], & -\pi/6 \leq \beta \leq \beta_*; \\ \exp[\mu_2(\beta - \beta_*)], & \beta_* \leq \beta \leq \pi/6. \end{cases}$$

Авторы данной работы теоретически изучили поведение ряда материалов, обладающих эффектом памяти формы, проявляющих различные механизмы мартенситной неупругости, при сложных температурно-силовых воздействиях, включая пропорциональное, непропорциональное и циклическое нагружения. Особенно интересными для изучения оказались опытные данные о влиянии вида напряженного состояния, опубликованные в [4,5]. В рамках предлагаемой авторами теоретической схемы эти экспериментальные данные удалось описать более просто и естественно, чем по уравнениям теории Лихачева-Малинина [6].

В заключение хотелось бы отметить некоторые особенности нового варианта теории пластичности с перекрестными связями:

а) в теорию введен механизм работы перекрестных связей, выражающийся в автоматической смене режимов пластического течения в зависимости от истории нагружения и температуры;

б) в теории принято, что при переключении движения с одной активной поверхности на другую или на случай их совместного движения разрешается по определенным правилам [1] скачкообразное изменение параметров теории (резкое изменение постоянных материалов вблизи температур мартенситных превращений типично для всех металлов и сплавов и является одной из причин их аномального механического поведения).

Детальному обсуждению описываемых эффектов будет посвящена специальная публикация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kadashevich I.Yu., Мельников В.Е. Phenomenological approach to the superelasticity and shape memory problem description // SPIE. 1998. Vol.3345. P. 176–177.
2. Кадашев И. Ю., Мельников В.Е. О возможности использования двухповерхностной теории пластичности при циклическом нагружении // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности металлоконструкций и методы их решения. СПб., 1998. С. 157–159.
3. Кадашев И.Ю., Помяткин С.П. Статистическая теория пластичности, учитывающая влияние параметра Лоде // Изв. АН СССР. Механика твердого тела: 1990. N 3. С.91–95.
4. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Северова Н.А. Влияние вида напряженного состояния напряженного состояния на характер изотермического деформирования никелида титана // Актуальные проблемы прочности: Науч. тр. XXXIII семинара. Новгород, 1997. С.33–39.
5. Андронов И.Н., Северова Н.А. Влияние вида напряженного состояния на реализацию циклической памяти формы // Заводская лаборатория. 1999. N 6. С.40–47.
6. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. СПб.: Наука, 1993. 471 с.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 01-01-00229)