

УДК 539.3

## НЕЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ТЕРМО-ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ

Павло Стеблянко, Олександр Петров, Юрій Черняков

*Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України,  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

[caf-vmi@ukr.net](mailto:caf-vmi@ukr.net)

Одним з аспектів загальної проблеми розв'язання нестационарних задач для непружних тіл є вибір визначальних співвідношень зв'язку між напруженнями і деформаціями. Цей вибір обґрунтовується узгодженістю з експериментом і тісно пов'язаний з досліджуваними процесами деформування. У загальному випадку значення деформацій є функціями процесу зміни напружень і температури, які визначаються характеристиками всього попереднього процесу зміни фізичних факторів, а не тільки поточними значеннями. Докладні відомості з цього питання можна знайти в роботі [1].

Тензор повної деформації будемо представляти як суму пружної складової, стрибка деформації при фазовому переході, пластичної деформації і деформації, яка викликана температурними змінами. Пружні деформації визначаються за допомогою закону Гука. Деформації викликані температурними змінами задовольняють закону лінійного теплового розширення. Стрибок деформацій при фазовому переході будемо визначати за допомогою функції  $f_{\gamma}(\sigma_{ij}) = 0$ , яка дає межі поверхні в просторі напружень. При переході через границю цієї поверхні стрибком зростає деформація, обумовлена фазовими переходами. Конкретний вид цієї поверхні наведено в роботах [2, 3]. Пластичні деформації мають задовольняти співвідношення теорії пластичності, яка застосовується. Проведено узагальнення відомих фізичних співвідношень на випадок термо-псевдо-пружно-пластичних матеріалів. Це теорія течії, теорія процесів деформування по траєкторіях малої кривизни та інші. Наведено конкретні приклади запису таких співвідношень.

Як встановлено в експериментальних дослідженнях, поведінка матеріалу в точці тіла в загальному випадку відрізняється від поведінки зразка в цілому. У запропонованому дослідженні сформульована нелінійна феноменологічна модель для опису властивостей матеріалу саме в точці. Деформація в

точці представляється у вигляді суми пружної складової; стрибка деформації при фазовому переході; пластичної деформації, яка підпорядковується теорії течії з кінематичним і трансляційним зміцненням; деформації, викликаної температурними змінами. При цьому передбачалося, що властивості матеріалу залежать від температури. Для опису пружної деформації і деформації фазового перетворення використовувалася діаграма пружного матеріалу, що складається з трьох нелінійних ділянок.

Таке трактування теорії призводить до нестійкої діаграми напруження-деформація і для опису термомеханічної поведінки зразків різної форми вимагає розв'язання граничної задачі з урахуванням розвитку фронту деформації перетворення. При цьому необхідно врахувати не тільки температуру навколишнього середовища, але і тепло, яке виділяється в зразку при фазовому переході. Запропонований підхід дозволив описати ряд експериментальних даних при різних формах зразків і умовах навантаження, включаючи циклічне температурне і силовий вплив. Отримано конкретні залежності для механічних параметрів. Встановлено, що класичні діаграми матеріалів представляють собою криву, що огинає сімейство діаграм матеріалу, яке побудовано для певних законів зміни швидкості фронту розриву деформацій.

1. *Steblyanko P., Shevchenko Yu.* Computational methods in stationary and non-stationary thermal-plasticity problems // *Computational Methods in Stationary and Nonstationary Thermal-Plasticity*. – Problems, ETS-Encyclopedia of Thermal Stresses, Shpringer Verlag, No. 7, 2014. – P. 630–636.
2. *Abeyaratne R., Knowles J.K.* Evolution of phase transitions. – Cambridge University Press, 2006. – 258 p.
3. *Steblyanko P., Chernyakov Yu., Petrov A., Loboda V.* Phenomenological Model of Pseudo-Elastic-Plastic Material Under Nonstationary Combining Loading / *Structural Integrity, Volume 8. Theoretical, Applied and Experimental Mechanics*, Springer Verlag, 2019. – P. 205–208.

#### **NONLINEAR MODEL OF THERMOPLASTIC BEHAVIOR OF SHAPE MEMORY ALLOYS**

*In this report, a nonlinear model is formulated to describe the shape memory properties of a material at a certain point. The deformation at a point is represented as the sum of the elastic component; deformation jump during the phase transition; plastic deformation that obeys the theory of flow with kinematic and translational hardening and deformation caused by temperature changes. It is assumed that the properties of the material depend on the temperature. This interpretation of the theory leads to an unstable stress-strain diagram; Thus, to describe the thermomechanical behavior of samples of different shapes, it is necessary to solve the boundary value problem taking into account the development of the transformation deformation front. In these problems, not only the ambient temperature is taken into account, but also the heat released in the sample during the phase transition.*