

А.Г. Шандрівський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра деталей машин**ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИЧНІ
ТЕМПЕРАТУРИ МАТЕРІАЛУ З ПАМ’ЯТТЮ ФОРМИ**

© Шандрівський А.Г., 2002

Запропонована нелінійна формула для опису впливу зовнішнього навантаження на характеристичні температури металів з пам’яттю форми.**The nonlinear formula for the description of influence of external loading on characteristic temperatures for Shape Memory Alloy is offered.**

Матеріалам з пам’яттю форми притаманні фазові переходи поблизу певних температурних точок – характеристичних температур переходу.

Фазове перетворення в таких матеріалах може ініціюватись не лише зміною температури матеріалу, а також зовнішнім навантаженням.

Встановлено, що в більшості випадків, характеристичні температури матеріалів з ПФ при прикладанні зовнішнього навантаження зростають.

В роботах [2, 3] говориться, що цей ріст відповідає рівнянню Клаузіуса – Клапейрона у вигляді

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{D_{13}q}{T_0}. \quad (1)$$

Права частини формули (1) є сталою, а тому і зміна характеристичних температур є лінійною функцією, яка залежить від T_0 – термодинамічної температури рівноваги фаз, яка, в свою чергу, також є характеристичною температурою.

В роботі [1] вказувалось, що T_0 можна визначити різними способами

$$T_0 = \frac{A_s + M_s}{2}; \quad T_0' = \frac{M_s + M_f}{2}; \quad T_0'' = \frac{A_s + A_f}{2}; \quad T_0 = \frac{M_s + A_f}{2}. \quad (2)$$

Така різниця між визначеннями говорить лише про формальний підхід у визначенні термодинамічної рівноваги фаз у матеріалах з ПФ, або усередненні характеристичних температур до температури T_0 , в околі якої відбувається перетворення.

Температура T_0 має вказувати на температуру, при якій відбувається перетворення I роду, але в матеріалах з ПФ існує так звана термопружна рівновага фаз і це перетворення відбувається поступово від температури M_s до M_f , або у зворотному напрямку від A_s до A_f , наближаючись до фазового перетворення другого роду. Температурний гістерезис, який має місце під час фазового перетворення зумовлений так званим сухим тертям в матеріалі, що утворюється внаслідок наявності дефектів у ньому.

Виникає питання, а на скільки виправдано використовувати T_0 при моделюванні деформаційної поведінки металів з пам’яттю.

Формула (1) вказує на лінійну залежність зміни характеристичної температури від зовнішнього навантаження і явно не залежить від температури навантаження. В роботі [3] вказується, що лінійний характер залежності, що випливає з рівняння (1), експериментально не завжди спостерігається.

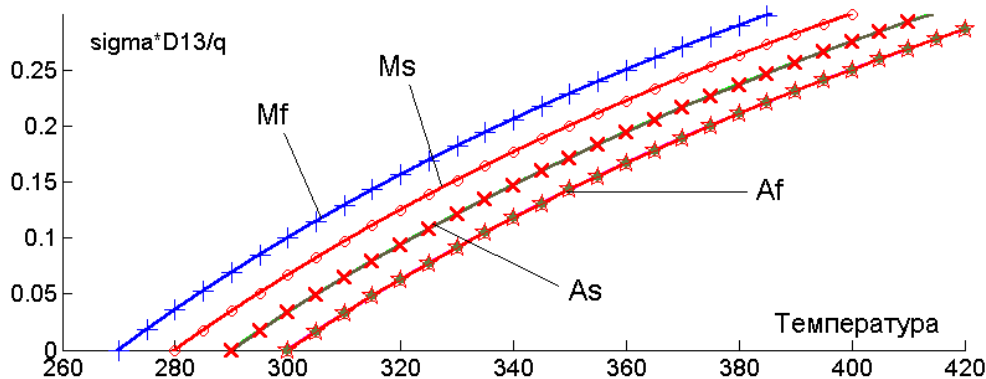
В роботі [2] вказується також на збільшення розбіжності для визначення макродеформації в структурно-аналітичній теорії міцності між теорією і експериментом залежно від фактора $(T - M_s)(M_s - M_f)^{-1}$. Введений фактор є наслідком використання для структурно-аналітичної теорії міцності рівняння (1) при визначенні так званої ефективної температури фазового перетворення в матеріалах з пам'яттю форми.

В роботах [6, 7] проведені дослідження із визначенням впливу зовнішнього навантаження на характеристичні температури матеріалів з пам'яттю. Спроба описати таку поведінку за допомогою лінійних функцій призвела до ускладнення виду залежності $d\sigma/dT$, але не позбавила їх формалізму із використанням T_0 . Користуючись формулами, які отримані в цих роботах, моделювання набагато ускладнюється, а інтегрування стає неможливим.

Пропонуємо замість формули (1) користуватись іншою, а саме:

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{D_{13}q}{T}. \quad (3)$$

Використовуючи формулу (3), ми враховуємо температуру навантаження матеріалу з пам'яттю і позбавляємося формалізму із використанням температури T_0 . Отримана формула працює в температурному діапазоні в околі фазового перетворення і за її допомогою вдається розв'язувати ряд практичних задач із використанням синтезної теорії [5] (див. рисунок).



Проведені розрахунки, використовуючи формулу (3), дають задовільні результати і узгоджуються із експериментальними даними [8].

1. Дилей Л., Верлимонт Х. Мартенситные превращения в сплавах на основе меди, серебра и золота. – М.: Наука, 1980. – 205 с. 2. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. – СПб.: Наука, 1993. – 471 с. 3. Никелид титана: Структура и свойства / В.Н. Хачин, В.Г. Пушин, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1992. – 160 с. 4. Русинко К. М., Шандрівський А. Г. Фазова деформація наводнених полікристалічних тіл // Проблеми прочности. – 1999. – №1. – С. 53 – 59. 5. Bhattachryya A, Lagoudas D.C. A stochastic thermodynamic model for the gradual thermal transformation of SMA polycrystals // Smart Mater. Struct. 6 (1997) 235–250. 6. Lagoudas D.C., Shu S.G. Residual deformation of active structures with SMA actuators // International Journal of Mechanical Sciences 41 (1999) 595–619. 7. Dimitris C. L., Zhonghe Bo, Muhammad A. Q. A Unified Thermodynamic Constitutive Model for SMA and Finite Element Analysis of Active Metal Matrix Composites // Center for Mechanics of Composites Aerospace Engineering Department Texas A&M University. Pp. 1–43.