

МОДЕЛЮВАННЯ МСЕ МЕХАНІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ СПЛАВІВ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ

В.П. Ясній, О.В. Дивдик, Я.Р. Лисенко

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Abstract

In this study, there were presented the results of modeling of the mechanical behavior of shape memory alloys (SMA) under uniaxial tension by FEM. Superelastic behavior of cylindrical specimen of SMA with 4 mm in diameter was modeled using the software package Ansys Workbench. Distributions of normal stresses in the specimen, intensity of normal stress, displacements and deformations were built.

1. Вступ

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) завдяки своїм функціональним властивостям, такими як ефект пам'яті форми та псевдопружність, використовуються в аерокосмічній техніці, біомедицині, ядерній енергетиці, цивільному та промисловому будівництві.

Псевдопружність обумовлена мікроструктурою матеріалу, в якій існують дві різні кристалографічні структури, одна з яких характеризується аустенітом (А), а інша - мартенситом (М). Ключовою характеристикою СПФ є фазові мартенситні перетворення (рис. 1). З макроскопічної точки зору механізми фазового перетворення, що беруть участь у надпружній поведінці, є: аустеніт до мартенситу ($A \rightarrow S$); мартенсит до аустеніту ($S \rightarrow A$); переорієнтація мартенситу ($S \rightarrow S$). Як правило, аустеніт стабільний при високих температурах та низьких напруженнях, тоді як мартенсит стабільний при низьких температурах та високих зусиллях.

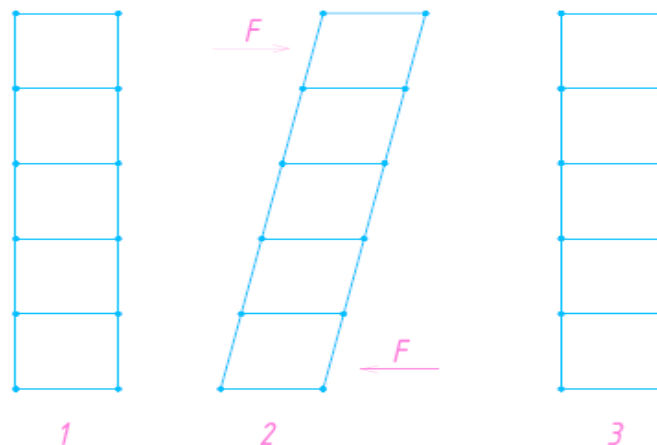


Рис. 1 Перехід фаз початкового і зворотного перетворення
1 - аустенітна фаза (фазові перетворення); 2 - мартенситна фаза (з прикладеним навантаженням); 3 - аустенітна фаза (зворотне перетворення)

Початок фазових перетворень (1), які після прикладання навантаження F переходить в мартенситну фазу (2) з розвантаженням зразка і зворотним фазовим перетворенням в аустенітну фазу (3). Надпружна поведінка проявляється при навантаженні з подальшим розвантаженням із здатністю матеріалу витримувати значні деформації (до 6%) і повертатися до початкової форми після зняття навантаження (рис. 3).

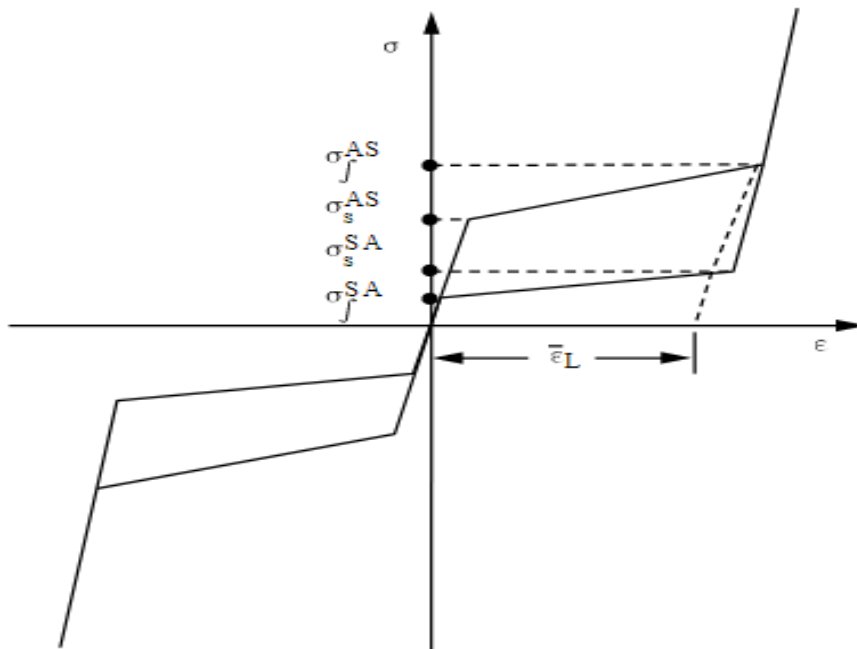


Рис. 3 Ідеалізована діаграма надпружної поведінки, тут σ_s^{AS} - напруження для початку фазових перетворень; σ_f^{AS} - напруження для закінчення фазових перетворень; σ_s^{SA} - напруження для початку зворотного фазового перетворення; σ_f^{SA} - напруження для закінчення зворотного фазового перетворення; ϵ_L - максимальна залишкова деформація

Для елементів конструкцій із матеріалів з пам'яттю форми, які під час експлуатації піддаються циклічному навантаженню важливим є прогнозування зміни функціональних і конструкційних властивостей. Для прогнозування витривалості матеріалів з пам'яттю форми можуть бути використані силові, деформаційні і енергетичні критерії руйнування.

2. Методика досліджень і матеріал

Надпружну поведінку матеріалу з пам'яттю форми моделювали методом скінченних елементів за допомогою прикладного програмного пакету Ansys Workbench 17.1 [1,2]. На рис. 3 представлено скінченноелементну модель зразка СПФ з нікель-титанового сплаву (нітінолу) діаметром $d = 4$ мм та довжиною $L = 12$ мм. Механічні властивості матеріалу подано у таблиці 1. Тут α - параметр, який характеризує відмінності у деформівній поведінці матеріалу при розтягуванні та стискуванні. При однаковій поведінці матеріалу за розтягування та стискування параметр $\alpha = 0$.

Таблиця 1. Властивості матеріалу, використанні для моделювання

Властивості матеріалу	
Модуль Юнга (пружності)	$E=60000$ МПа
Коефіцієнт Пуассона	0,36
Властивості надпружності	
SAS (початок фазового перетворення)	520 МПа
FAS (кінець фазового перетворення)	600 МПа
SSA (початок зворотнього перетворення)	300 МПа
FSA (кінець зворотнього перетворення)	200 МПа
ϵ_L	0,07
α	0,1

MSE моделювали деформування одновісним розтягом циліндричного зразка, який жорстко закріплений вздовж поверхні А, силу прикладали до поверхні В (рис. 3а). Скінченноелементна модель зразка представлена на рис 3б.

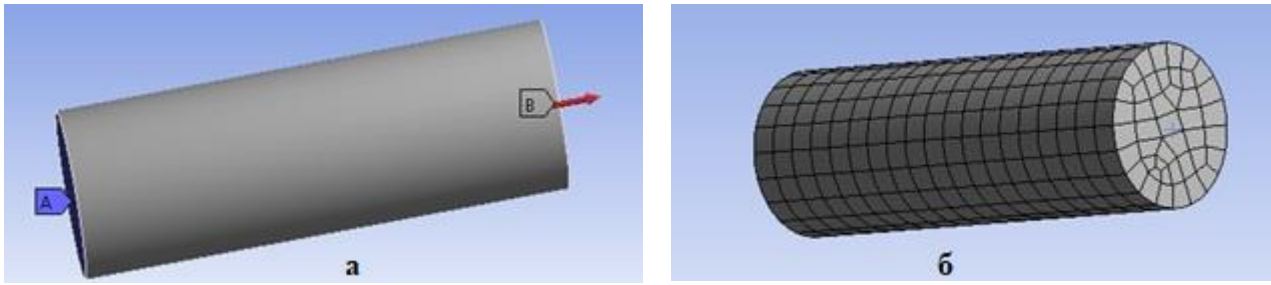


Рис. 3 Схема навантаження -а і скінченноелементна модель зразка -б. А - поверхня жорсткого закріплення; В- поверхня прикладання зусилля (В)

Весь етап моделювання задавали 5-ма кроками (рис.4): навантаження - 2 кроки: 1 -й крок дорівнював 4000 Н; 2-й крок - 4550 Н; розвантаженням - 3 кроки: 3-й крок - 2250 Н; 4-й крок - 1550 Н; 5-й крок - 10 Н.

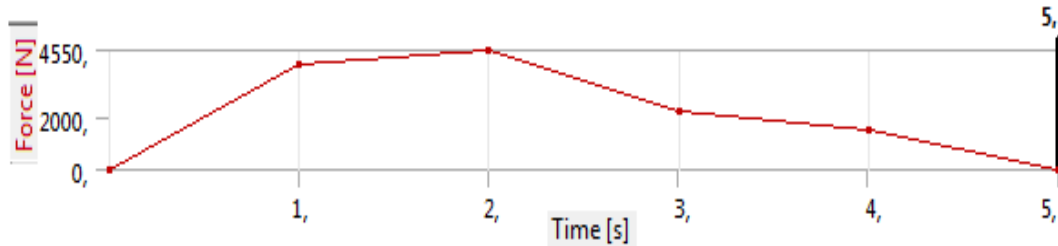


Рис. 4 Графік зміни прикладеної до зразка сили

3. Результати досліджень та їх обговорення

В результаті моделювання на кожному етапі навантаження побудовано розподіли нормальних напружень в зразку, інтенсивність нормальних напружень, переміщень і деформацій. Діаграма σ - ϵ при навантаженні і розвантаженні представлена на рис 5.

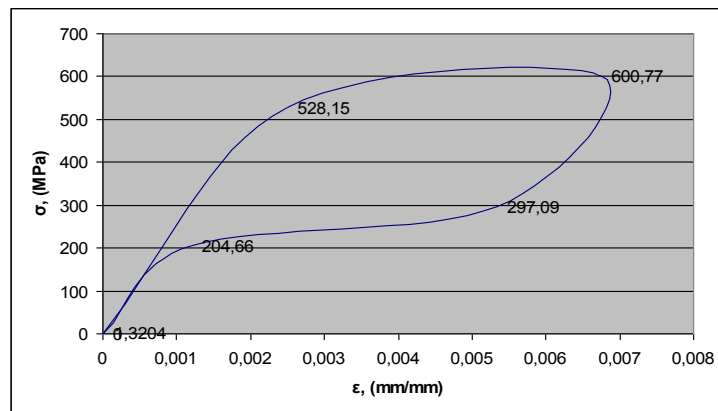


Рис. 4 Залежність нормальних напружень від деформацій зразка при навантаженні-розвантаженні

Література

1. ANSYS Inc. (2009). Ansys 12.1 Help. Canonsburg, Pennsylvania.
2. Бруйка В.А. Інженерний аналіз в Ansys Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е. А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самар. гос. тех. ун-т, 2010. – 271 с.