

### УДК 539.3

Дивдик О.В., Ясній В.П., Цимбалюк Л.І., Луцик Н.С.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПСЕВДОПРУЖНОЇ ПОВЕДІНКИ СПЛАВІВ ІЗ ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ ЗА СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ РОЗТЯГОМ

Dyvdyk O., Iasnii V., Tymbaliuk L., Lutsyk N.

### MODELING OF PSEUDOELASTIC BEHAVIOR OF SMA UNDER STATIC TENSION LOADING

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) з ефектом псевдопружності [1–3] знаходять застосування в аерокосмічній промисловості [4], ядерній енергетиці, цивільному та промисловому будівництві [3,5,6] тощо. Використання таких матеріалів залежить від механічних та функціональних властивостей, а також від температур їх фазових перетворень. Тому важливо вміти змоделювати деформівну поведінку матеріалу СПФ з ефектом псевдопружності.

Характеристики механічних властивостей дротини СПФ діаметром 1,5 мм досліджували на повітрі за температури 16°C (табл. 1). Випробування проводили на модернізованій машині FP 100 з автоматизованим керуванням і системою збирання даних.

Моделювання NiTi сплаву виконано методом скінченних елементів за допомогою прикладного програмного пакету Ansys Workbench [7,8]. Фізичні властивості і характеристики прямих (SAS>FAS) і зворотних (SSA>FSA) фазових перетворень за деформування розтягом і розвантаження матеріалу подані у табл. 1.

Таблиця 1 Властивості матеріалу

SAS (початок фазового перетворення)	МПа	450
FAS (кінець фазового перетворення)		460
SSA (початок зворотного перетворення)		190
FSA (кінець зворотного перетворення)		100
$\sigma_{0,2}$		338
Модуль пружності		$52,7 \cdot 10^3$
$\epsilon_L$	мм/мм	0,07
Коефіцієнт Пуассона		0,36
Густина	г/см <sup>3</sup>	6,45

Змодельовано деформівну поведінку дротини з нікель-титанового сплаву діаметром 1,5 мм та довжиною 30 мм за дії статичного навантаження, яка жорстко закріплена в точці (А) з прикладеним навантаженням в точці (В) по осі Z (рис. 1). Проведена дискретизація моделі скінченним елементом (рис. 2) із загальною кількістю елементів - 896, вузлів - 4531. Розмір одного елемента становить 0,5 мм.

Весь етап моделювання задавався в 8 кроків із 100 підкроками в одному кроці. Перший крок, навантаження розтягом зразка силою  $F = 817$  Н (рис. 3). Другий крок - розвантаження  $F = 130$  Н (рис. 4, а). Третій крок – навантаження  $F = 730$  Н. Четвертий крок – розвантаження  $F = 120$  Н. П'ятий крок – навантаження  $F = 730$  Н. Шостий крок – розвантаження  $F = 220$  Н. Сьомий крок – навантаження  $F = 660$  Н. Сьомий крок – розвантаження  $F = 100$  Н (рис. 4, б).

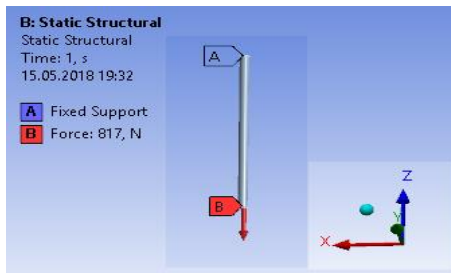


Рисунок 1 Модель зразка, закріплення (A) і прикладена сила (B)

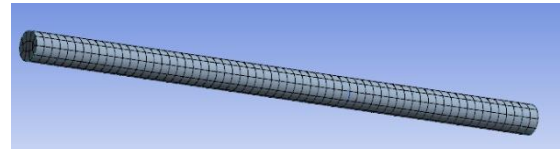


Рисунок 2 Скінченоелементна модель дротини

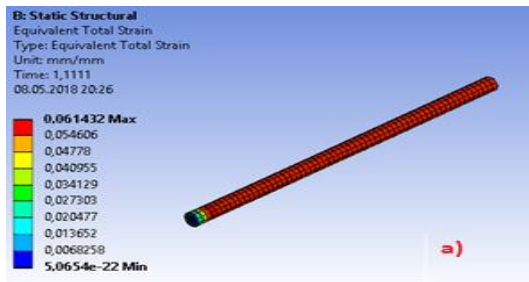
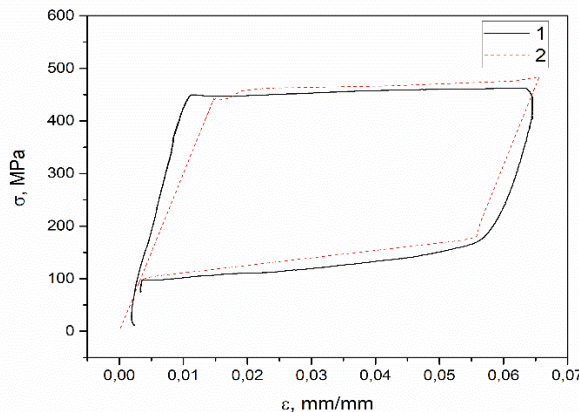
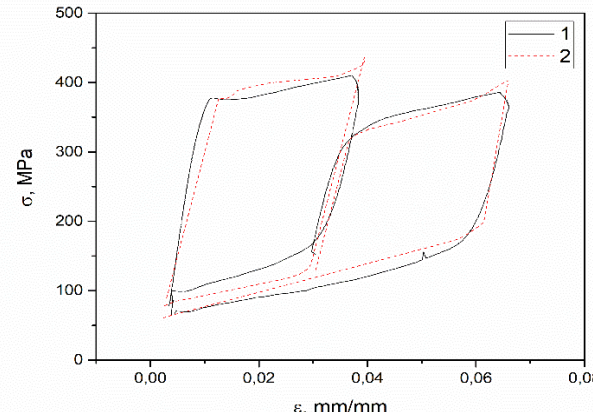


Рисунок 3 Розподіл деформацій – а) та напружень – б) після прикладання сили 817 Н



а



б

Рисунок 4 Залежність напружень від деформацій отримані експериментально (1) та моделюванням (2) при статичному (а) та повторно статичному (б) навантаженні

Змодельовано деформівну поведінку NiTi сплаву при статичному та повторно статичному навантаженні, що збігається з експериментальними даними.

#### Список використаної літератури

1. Miyazaki S. et al. Shape memory effect and pseudoelasticity in a TiNi single crystal // Scr. Metall. Pergamon, 1983. Vol. 17, № 9. P. 1057–1062.
2. Ma H., Cho C. Feasibility study on a superelastic SMA damper with re-centring capability // Mater. Sci. Eng. A. Elsevier, 2008. Vol. 473, № 1–2. P. 290–296.
3. Yasniy P. et al. Calculation of constructive parameters of SMA damper // Sci. J. TNTU. 2017. Vol. 88, № 4. P. 7–15.
4. Ясній П., Ясній В. Демпфуючий пристрій для транспортування довгомірних конструкцій : пат. 116582 Україна МПК F16F 7/12; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. 2017.
5. Ma H., Yam M.C.H. Modelling of a self-centring damper and its application in structural control // J. Constr. Steel Res. Elsevier, 2011. Vol. 67, № 4. P. 656–666.
6. Torra V. et al. The SMA: An Effective Damper in Civil Engineering that Smooths Oscillations // Mater. Sci. Forum. Trans Tech Publications, 2012. Vol. 706–709. P. 2020–2025.
7. ANSYS, 2013, SAS IP, Inc., Ansys Help System, Mechanical APDL, Theory reference.
8. Бруйка В.. Інженерний аналіз в Ansys Workbench. 2010. 271 p.