

УДК 539.3

Н. Биків¹, В. Ясній¹, д.т.н., доц., Ю. Лапуста², д.т.н., проф., В. Будз¹

¹Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

²University Clermont Auvergne, CNRS, Institute Pascal, Clermont-Ferrand F-63000, France

ВПЛИВ ЧАСТОТИ НАВАНТАЖЕННЯ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ПСЕВДОПРУЖНОГО СПФ

N. Bykiv¹; V. Iasnii¹, Dr., Assoc. Prof.; Y. Lapusta², Dr., Prof.; V. Budz¹;

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

²University Clermont Auvergne, CNRS, Institute Pascal, Clermont-Ferrand F-63000, France

INFLUENCE OF FREQUENCY ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF PSEUDOELASTIC SMA

Abstract. This article describes the study of the effect of frequency on the functional properties of a pseudoelastic SMA. A wire with a diameter of 1.5 mm and a length of 210 mm was subjected to a tensile test at frequencies of 0.1 Hz and 10 Hz. The research was carried out under controlled stresses in the sample. The difference in frequency greatly affected the functional properties of the SMA and durability.

Складні умови експлуатації будівель та споруд потребують широкого спектру досліджень перед застосуванням нових матеріалів у будівництві. Так, для проектування демпфуючих пристроїв (damping device) із СПФ проводять комплексні експериментально-розрахункові дослідження змін властивостей компонентів та пристрою в цілому [1], [2].

Багато праць присвячено вивченню поведінки СПФ під дією циклічних навантажень за різних частот [3], [4], [5]. У дослідженні сендвіч-плит із попередньо натягнутими дротинами СПФ [6] зафіксовано погіршення функціональних властивостей псевдопружних елементів. Це пов'язано із накопиченням тепла у дротинах під дією циклічного навантаження.

Експерименти із кінчною пружною шайбою із СПФ демонструють зміни жорсткості та кількості розсіяної енергії зі збільшенням частоти навантаження від 0,5 Гц до 10 Гц.

Більшість праць опирається на дослідження із жорстким режимом циклічного навантаження (контрольована деформація зразка). Постає потреба у розумінні поведінки СПФ за м'якого режиму циклічного навантаження (контрольоване напруження зразка).

Досліджено зміни функціональних властивостей дротини зі сплаву із пам'яттю форми (Табл. 1.).

Табл. 1. Характеристики сплаву із пам'яттю форми

Сплав	Тип зразка	Діаметр	Робоча довжина	E_A	σ^{AM}
Ni _{55,8} Ti _{44,2}	дротина	1,5 мм	210 мм	52,7 ГПа	338 МПа

Дослідження проведено на сервогідравлічній машині STM-100 за кімнатної температури. Випробування дротини одновісним розтягом проведено у частотах 0,1 Гц та 10 Гц синусоїдальної форми циклу.

Напружено-деформований стан визначено із значень зусиль та переміщень, записаних програмою Test Builder. Розсіяну енергію визначено із петель гістерезису (Рис. 5) за формулою (1).

$$W_{dis\ i} = W_{dis\ i-1} + \frac{1}{2}(\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})(\sigma_i + \sigma_{i-1}) \quad (1)$$

де W_{dis} – розсіяна енергія, МДж/м³; ε – відносна деформація, м/м; σ – напруження, МПа.

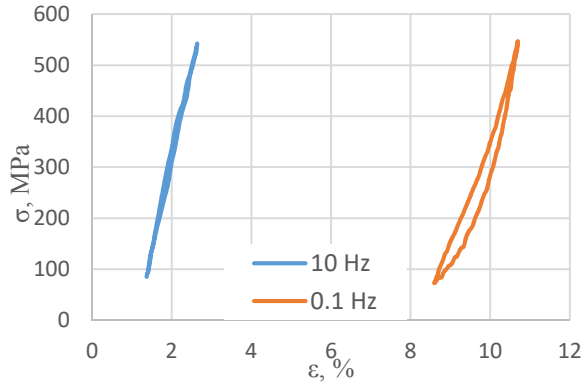


Рис. 5. Залежності напруження від деформації NiTi сплаву 1000-го циклу навантаження за частоти у 0,1 Гц та 10 Гц

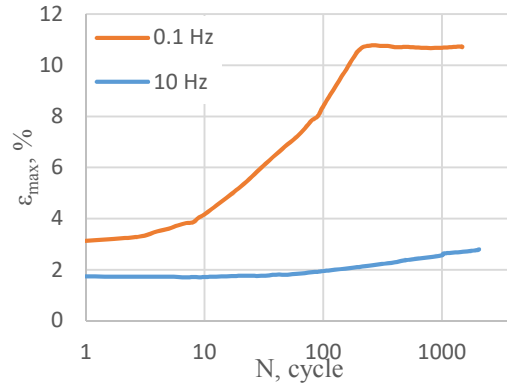


Рис. 6. Залежності максимальних деформацій NiTi сплаву від кількості циклів навантаження

Помічено зменшення площі гістерезису із збільшенням частоти навантаження (Рис. 5). Різниця у кількості розсіяної енергії змінювалась із кількістю циклів (Табл. 1).

Табл. 1. Зміна кількості розсіяної енергії

Частота, Гц	Кількість розсіяної енергії за цикл, МДж/м ³							
	1-ий	10-ий	50-ий	100-ий	500-ий	1000-ий	1477-ий	2052-ий
0,1	2,82	4,16	5,30	5,11	1,37	1,02	0,96	-
10	0	0,03	0,09	0,11	0,15	0,17	0,31	0,31

Спостерігається збільшення довговічності дротини приблизно на 30% при збільшенні частоти у 100 разів. Паралельно із цим, збільшення частоти навантаження призвело до зменшення максимальних деформацій. У першому циклі деформації за частоти 0,1 Гц у 2 рази більші, ніж за 10 Гц. Після 200-го циклу різниця деформацій п'ятикратна (Рис. 6).

Із проаналізованих даних випливає, що частота навантаження значно впливає на поведінку дротини із СПФ та її властивості. Це формує підґрунтя для подальших досліджень псевдопружного елемента за м'якого режиму навантаження.

Література.

1. Yasniy P. et al. Calculation of constructive parameters of SMA damper // Sci J TNTU. 2017. Vol. 88, № 4. P. 7–15.
2. Iasnii V., Sobaszek L., Yasniy P. Study of cyclic response of SMA based damping device // Procedia Struct Integr. Elsevier BV, 2022. Vol. 36. P. 284–289.
3. Teh Y.H., Featherstone R. Frequency response analysis of shape memory alloy actuators // Int Conf Smart Mater Nanotechnol Eng. 2007. Vol. 6423, № July. P. 64232J.
4. Bernardini D., Rega G. Evaluation of different SMA models performances in the nonlinear dynamics of pseudoelastic oscillators via a comprehensive modeling framework // Int J Mech Sci. Pergamon, 2017. Vol. 130. P. 458–475.
5. Huang Y. et al. Modal Performance of Two-Fiber Orthogonal Gradient Composite Laminates Embedded with SMA // Materials (Basel). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2020. Vol. 13, № 5.
6. Botshekanan Dehkordi M., Khalili S.M.R. Frequency analysis of sandwich plate with active SMA hybrid composite face-sheets and temperature dependent flexible core // Compos Struct. Elsevier, 2015. Vol. 123. P. 408–419.