

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Doświadczalne wyznaczenia właściwości stopów z pamięcią kształtu

Jonasz Hartwich¹, Sebastian Sławski¹, Marek Kciuk², Sławomir Duda¹

¹Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska

²Katedra Mechatroniki, Politechnika Śląska

email: Jonasz.Hartwoch.polsl.pl, Sebastian.Slawski.polsl.pl, Marek.Kciuk.polsl.pl, Sławomir.Duda.polsl.pl

STRESZCZENIE: W przedstawionym artykule zaprezentowano badanie doświadczalne mające na celu ocenę wpływu wielokrotnie powtarzanych cykli rozciągania na rezystancję elektryczną przewodu ze stopów niklu i tytanu. W badaniach wykorzystano przewody o dwóch różnych średnicach 100 i 150 μm . W procesie przygotowania próbek do badań przewodów ze stopu NiTi został pocięty na fragmenty o długości 100 mm. Na ich końcach zamontowano uchwyty umożliwiające zamocowanie próbki na stanowisku badawczym oraz będące kontaktami elektrycznymi do pomiarów oporu elektrycznego. Podczas badań próbki zostały poddane 30 identycznym cyklom rozciągania. Zmierzone: rezystancję elektryczną, odkształcenie próbki, siłę rozciągającą w trakcie kolejnych cykli oraz temperaturę otoczenia. Zaobserwowano, że opór elektryczny przewodów ze stopów NiTi spada z każdym kolejnym cyklem rozciągania. Wyniki badań są obiecujące i otwierają drogę do możliwego wykorzystania stopów z pamięcią kształtu w układach sensorycznych np. do monitorowania strukturalnego.

SŁOWA KLUCZOWE: materiały inteligentne, stopy z pamięcią kształtu, NiTi, monitorowanie strukturalne, rezystancja elektryczna

1. Wstęp i zakres

Projektowanie współczesnych aplikacji przemysłowych oraz aplikacji użytku codziennego realizowane jest wedle koncepcji Internetu rzeczy (Internet of things) oraz 4. rewolucji przemysłowej (Industry 4.0) [1, 2]. Komponenty i zaspały wykonywane w myśl tych paradygmatów cechują się dużą autonomią i możliwością przewidywania potrzeb użytkownika. Generuje to duże zapotrzebowanie na układy sensoryczne, układy sterowania oraz nowoczesne aktuatory. Wzrost zapotrzebowania na inteligentne urządzenia wiąże się również ze wzrostem ich masy. Zjawisko to jest szczególnie problematyczne w przemyśle samochodowym w którym wzrost masy zastosowanych komponentów prowadzi do wzrostu masy całego pojazdu co, wiąże się z większymi kosztami jego eksploatacji. Takie okoliczności otwierają przestrzeń do wykorzystania tak zwanych „materiałów inteligentnych”. Materiały tego typu łączą cechy aktuatorów, sensorów i często układów sterowania w ramach jednego elementu [3]. Istotną grupą wśród materiałów inteligentnych są materiały z pamięcią kształtu (shape memory material) w ramach, których największą popularnością cieszą się stopy na bazie niklu i tytanu. Kluczową cechą stopów NiTi jest odwracalna termiczna przemiana martenzytyczna [4] właściwość ta pozwala na wykorzystanie tych stopów w roli inteligentnych aktuatorów. Jest to przemiana o dużej wydajności i może zachodzić pod relatywnie dużymi obciążeniami co sprawia, że aktuatory na bazie stopów NiTi charakteryzują się bardzo dobrą relacją mocy do masy.

Ze względu na swoje właściwości materiały z pamięcią kształtu cieszą się rosnącym zainteresowaniem naukowym oraz komercyjnym [4], w związku z czym są

wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu. Aplikacje wykorzystujące komponenty na bazie stopów NiTi stosowane są przed wszystkim w przemyśle samochodowym oraz lotniczym, w robotyce miękkiej oraz w dziedzinie inżynierii biomedycznej w ramach której uzyskiwanych jest najwięcej patentów powiązanych ze stopami NiTi[4]. Pomimo że istnieje wiele powszechnie stosowanych aplikacji przemysłowych i konsumenckich, zagadnienie stopów NiTi wciąż pozostaje w obszarze dużego zainteresowania środowisk naukowych. Wśród kluczowych zagadnień badawczych powiązanych z materiałami z pamięcią kształtu można wymienić: projektowanie nowoczesnych wydajnych inteligentnych aktuatorów[5], opracowywanie nowych metod sterowania układami na bazie stopów NiTi [6].

W niniejszej pracy analizowano właściwości sensoryczne stopów NiTi. Przebadano wpływ ilości cykli rozciągania z niewielkim odkształceniem przewodów ze stopów NiTi na wartość ich rezystancji elektrycznej.

2. Materiał i metodologia badań

W niniejszej pracy wyznaczono właściwości przewodów ze stopów niklu i tytanu dostarczonych przez firmę Dynalloy, których handlowa nazwa to flexinol. Podstawowe właściwości wykorzystywanego materiału zgodnie z informacjami producenta przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Podane przez producenta właściwości przewodów z flexinol'u [7].

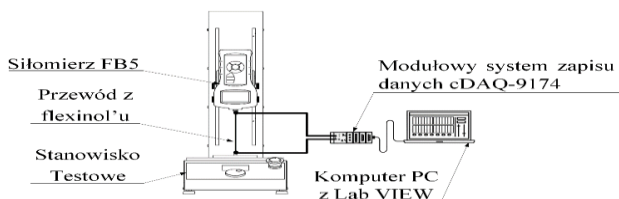
Parametry	ρ	v	c	Q	ρ
Jednostki	g/cm^3	-	$\text{cal}/\text{g}^*\text{°C}$	cal/g	$\mu\Omega^*\text{cm}$

Martenzyt	6,45	0,33	0,2	6,6e-6	80
Austenit	6,45	0,33	0,2	11,0e-6	100

W procesie przygotowania próbki przewody ze stopów NiTi zostały pocięte na fragmenty o długości 100 mm oraz na ich końcach zamontowano uchwyty do montażu na stanowisku badawczym będące jednocześnie kontaktami elektrycznymi. Jako próbki do badania wykorzystano przewody o różnych średnicach 100 oraz 150 μm .

Podczas badania odpowiednio przygotowane próbka ze stopów NiTi ulegała cyklicznemu rozciąganiu z niewielkim odkształceniem (0,5%). W pierwszym etapie cyklu próbka z pozycji początkowej w której pozostawała w spoczynku rozciągana była ze stałą prędkością 10 mm/min, następnie po osiągnięciu zadanego odkształcenia układ pozostawał w tej pozycji przez czas 1 s. W kolejnym etapie próbka powracała do pozycji początkowej z taką samą szybkością jak podczas rozciągania. Po osiągnięciu pozycji początkowej próbka pozostawała w niej na czas 1 s po czym cykl był powtarzany. Dla każdej próbki opisany cykl został powtórzony 30 razy. Podczas cyklicznego rozciągania mierzona była rezystancja elektryczna.

Tor pomiarowy składał się z: statywu STAV 500/280 (AXIS Sp. z o.o., Gdańsk, Polska) przeznaczonego do zamocowania próbki oraz pomiaru przemieszczenia, siłomierza FB50 (AXIS Sp. z o.o., Gdańsk, Polska) pozwalającego na pomiar występujących sił, termopary TTE426 do pomiarów temperatury otoczenia. Do pomiaru rezystancji realizowanego metodą 4 przewodową oraz do odczytu danych z termopary wykorzystano moduły NI9216 (NI, Austin, TX, USA). Moduły te zostały połączone z systemem zapisu danych cDAQ-9174 (NI, Austin, TX, USA) przeznaczonego do odczytu i zapisu danych pomiarowych. Stanowisko badawcze zostało przedstawione na rys. 1.

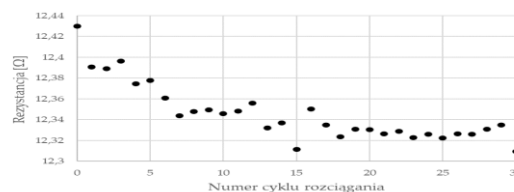


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

3. Wyniki

W czasie badania zmierzono rezystancję oraz odkształcenie badanego przewodu ze stopu NiTi. Dodatkowo mierzono temperaturę otoczenia i siłę w trakcie rozciągania próbki. Temperatura otoczenia pozostawała w przedziale od 22 do 24°C co nie miało większego wpływu na rezystancję badanej próbki. W trakcie badań próbki o średnicy 100 μm maksymalna siła rozciągająca nie przekroczyła wartości 0,9 N natomiast dla próbki o średnicy 150 μm maksymalna wartość siły rozciągającej nie przekroczyła wartości 0,8 N.

Rezystancja elektryczna próbki spadała po każdym kolejnym cyklu rozciągania. Spadek wartości oporu elektrycznego po pierwszym cyklu był znaczący, natomiast dla każdego kolejnego cyklu spadek wartości rezystancji elektrycznej był niewielki i wynosił około 0,01-0,02 Ω . Wyniki pomiarów rezystancji dla próbki o średnicy 100 μm przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wartość średnia rezystancji elektrycznej przewodu ze stopów NiTi o średnicy 100 μm po kolejnych cyklach rozciągania.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych wpływu cyklicznego rozciągania na wartość oporu elektrycznego przewodów ze stopów NiTi można stwierdzić, że:

- 1) obserwowalny jest spadek rezystancji elektrycznej dla kolejnych cykli rozciągania przewodu ze stopów NiTi,
- 2) spadek wartości rezystancji elektrycznej pomiędzy cyklami jest niewielki natomiast pozostaje możliwy do zmierzenia,
- 3) możliwy jest powrót do początkowej wartości rezystancji elektrycznej przewodu ze stopu NiTi poprzez wywołanie przemiany stopu do fazy austenitycznej a następnie powrót do fazy martenzytycznej,
- 4) zmiana rezystancji stopu NiTi wskutek rozciągania wynika z przekształceń wewnętrznej struktury stopu i nie ulega zmianie do czasu wywołania przemiany fazowej.

Otrzymane wyniki otwierają drogę do dalszych badań nad zastosowaniem stopów NiTi w układach sensorycznych. Szczególnie istotny jest fakt, że czujniki wykonane z wykorzystaniem przewodu ze stopów NiTi mogłyby pracować zarówno z zewnętrznym zasilaniem jak i bez niego. Właściwość ta może pozwolić na wykorzystanie ich w roli układów do monitorowania strukturalnego konstrukcji lub jako układ do wykrycia przekroczenia maksymalnych dopuszczalnych odkształceń. Układy tego typu mogłyby pracować zarówno w trybie Offline, jak i Online.

Literatura

- [1] Qazia A. M., Hasan S., Haleema M. A., Mohd S. B., Gopald J. K., The impact of smart materials, digital twins (DTs) and Internet of things (IoT) in an industry 4.0 integrated automation industry, *Materials Today Proceedings*, 2022.
- [2] Ammara M., Haleema A., Javaida M., Waliab R., Bahlc S., Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies, *Materials Today Proceedings*, 2022.
- [3] Kusagur S.M., Arunkumar G., Modelling of smart intelligent materials with PZT & PVDF sensors/actuators to control the active vibrations of flexible aluminum mechanical cantilever beams using proportional integral derivative (PID) techniques, Volume 37, Pages 2075-2082, *Materials Today Proceedings*, 2021.
- [4] Jani M.J., Learya M., Subica A., Gibsonc M.A., A review of shape memory alloy research, applications and opportunities, Volume 56, Pages 1078-1113, *Materials & Design*, 2014.
- [5] Yang H., Xu M., Li W., Zhang S., Design and Implementation of a Soft Robotic Arm Driven by SMA Coils, Volume: 66, Issue: 8, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2019.
- [6] Ruth J.S.D., Nakshatharan S.S., Dhanalakshmi K., Differential resistance feedback control of a self-sensing shape memory alloy actuated system, Volume 53, Issue 2, Pages 289-297, *ISA Transactions*, 2014.
- [7] DYNALLOY Inc., https://www.dynalloy.com/pdfs/TCF1140_2.pdf, ostatnia odwiedzany: 2022.