

Elżbieta Pieczyska

**ANALIZA DOŚWIADCZALNA WŁAŚCIWOŚCI
TERMOMECHANICZNYCH STOPÓW TINI ORAZ
POLIURETANU Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU**



INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
WARSZAWA 2008

Analiza doświadczalna właściwości termomechanicznych stopów TiNi oraz poliuretanu z pamięcią kształtu

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	str. 1
1.1. Przedmiot, cel i zakres pracy.....	str. 1
1.2. Ogólna charakterystyka materiałów z pamięcią kształtu	str. 5
1.3. Właściwości stopów z pamięcią kształtu (SMA), rys historyczny i uzasadnienie tematyki badawczej.....	str. 6
2. Opis eksperymentu w zakresie badań właściwości termomechanicznych materiałów z pamięcią kształtu.....	str. 15
2.1. Opis materiału i stanowiska badawczego.....	str. 15
2.1.1. Charakterystyka stopu TiNi z pamięcią kształtu.....	str. 15
2.1.2. Materiał i próbki - TiNi SMA.....	str. 17
2.2. Opis aparatury badawczej.....	str. 20
2.2.1. Omówienie możliwości stosowanej kamery termowizyjnej.....	str. 22
2.3. Oszacowanie błędów pomiarowych.....	str. 24
3. Efekty ciepłno-deformacyjne w stadium nukleacji i rozwoju przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej podczas rozciągania TiNi SMA	str. 25
3.1. Nukleacja i rozwój przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej w stopie TiNi z pamięcią kształtu przy sterowaniu odkształceniem i naprężeniem.....	str. 25
3.1.1. Analiza przebiegu przemiany na podstawie zmian temperatury w punkcie lokalizacji w poszczególnych etapach rozciągania TiNi SMA.....	str. 36
3.1.2. Etapy przemiany martenzytycznej wyszczególnione na podstawie badań charakterystyk mechanicznych i temperaturowych TiNi SMA.....	str. 40

3.2. Wpływ parametrów odkształcania na właściwości termomechaniczne stopu TiNi z pamięcią kształtu.....	str. 41
3.2.1. Wpływ zakresu odkształcenia na charakterystyki mechaniczne	str. 42
3.2.2. Wpływ prędkości odkształcenia na zmiany naprężenia i temperatury	str. 43
3.2.3. Wpływ prędkości odkształcenia na warunki lokalizacji przemiany....	str. 51
3.3. Geometria pasma zlokalizowanej przemiany martenzytycznej w TiNi SMA.....	str. 55
3.4. Porównanie badań zlokalizowanej przemiany fazowej w SMA z wynikami otrzymanymi metodą cyfrowej korelacji obrazów rozkładów pól odkształceń..	str. 58
3.5. Badania monokryształu stopu z pamięcią kształtu - CuAlBe.....	str. 61
3.6. Podsumowanie badań nukleacji i rozwoju przemiany martenzytycznej w TiNi SMA.....	str. 64

4. Weryfikacja doświadczalna wybranych modeli teoretycznych..... str. 67

4.1. Podstawy teorii przemiany martenzytycznej w stopie z pamięcią kształtu; jednowymiarowy opis pseudosprężystości.....	str. 67
4.2. Doświadczalne wyznaczenie parametrów przemiany fazowej badanego stopu TiNi z pamięcią kształtu.....	str. 73
4.3. Eksperymentalna identyfikacja parametrów przemian fazowych TiNi SMA	str. 79
4.4. Bilans energii przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej oszacowany dla różnych prędkości odkształcania.....	str. 80
4.5. Bilans energii przemiany martenzytycznej – dyskusja wyników i podsumowanie.....	str. 89

5. Zbadanie aktywności przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej w SMA w obecności efektów sprzężeń termodynamicznych..... str. 91

5.1. Zbadanie aktywności przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej podczas obciążania i odciążania ze stałą prędkością odkształcania.....	str. 91
--	---------

5.2. Zbadanie aktywności przemiany martenzytycznej wprost i odwrotnej podczas obciążania i odciążania ze stałą prędkością naprężenia.....	str. 101
5.2.1. Zbadanie wpływu wartości odkształcenia, przy którym wprowadzono przystanek, na przebieg przemian fazowych.....	str. 106
5.2.2. Zbadanie przebiegu przemiany odwrotnej, niezależnie od termicznych konsekwencji przemiany martenzytycznej wprost.....	str. 107
5.2.3. Zbadanie aktywności przemian martenzytycznych przy odpowiednio zaprogramowanych zmianach naprężenia.....	str. 109
5.3. Warunki rozwoju przemiany martenzytycznej podczas wprowadzanych modyfikacji programu obciążania	str. 118
5.3.1. Termomechaniczne warunki obciążania neutralnego.....	str. 119
5.4. Podsumowanie wyników badań aktywności przemiany martenzytycznej	str. 122

6. Badania właściwości termomechanicznych stopu TiNi z pamięcią kształtu w procesie prostego ścinania oraz odkształceń cyklicznych..... str. 123

6.1. Metodyka badań stopu z pamięcią kształtu w procesie ścinania	str. 123
6.2. Badania stopu TiNi SMA w kolejnych cyklach prostego ścinania ze wzrastającą amplitudą i studzeniem próbki.....	str. 127
6.3. Badania NiTi SMA w pełnym cyklu ścinania.....	str. 131
6.4. Niejednorodności przemiany fazowej podczas ścinania stopu NiTi SMA	str. 136
6.5. Wpływ prędkości ścinania na zmiany naprężenia i temperatury NiTi.....	str. 137
6.6. Badania termomechaniczne podczas cyklicznego rozciągania i prostego ścinania stopu z pamięcią kształtu.....	str. 139
6.6.1. Badania cykliczne stopu z pamięcią kształtu TiNi w procesie rozciągania.....	str. 139
6.6.2. Badania cykliczne NiTi SMA w pełnym cyklu ścinania	str. 143
6.6.3. Porównanie efektów termomechanicznych obserwowanych w stopie NiTi z pamięcią kształtu w kolejnych cyklach rozciągania i prostego ścinania	str. 145
6.7. Podsumowanie wyników badań ścinania stopu NiTi z pamięcią kształtu	str. 146

7. Wyniki badań termomechanicznych polimerów z pamięcią kształtu.....	str. 147
7.1. Omówienie właściwości polimerów z pamięcią kształtu (SMP).....	str. 147
7.2. Zastosowania praktyczne poliuretanów z pamięcią kształtu.....	str. 149
7.3. Przegląd wyników badań SMP opublikowanych w literaturze.....	str. 151
7.4. Podstawy teorii opisującej właściwości SMP.....	str. 154
7.5. Wprowadzenie do badań doświadczalnych SMP.....	str. 156
7.6. Badania poliuretanu z pamięcią kształtu w procesie rozciągania oraz ścinania w temperaturze pokojowej.....	str. 158
7.6.1. Podstawy teorii mierzonych efektów sprzężeń	str. 159
7.6.2. Badania poliuretanu z pamięcią kształtu w procesie rozciągania.....	str. 161
7.6.3. Badania poliuretanu z pamięcią kształtu w procesie ścinania.....	str. 167
7.7. Podsumowanie wyników badań poliuretanu z pamięcią kształtu.....	str. 174
8. Podsumowanie oraz wnioski końcowe.....	str. 175
8.1. Ogólne wnioski z pracy.....	str. 175
8.2. Oryginalne rezultaty pracy.....	str. 178
8.3. Propozycje dalszych prac badawczych.....	str. 179
9. Bibliografia.....	str. 181
10. Dodatek: Przegląd zastosowań stopów z pamięcią kształtu.....	str. 197
D1. Przegląd zastosowań stopów z pamięcią kształtu w technice.....	str. 197
D2. Przegląd zastosowań stopów z pamięcią kształtu w medycynie.....	str. 201
D3. Materiały z pamięcią kształtu – stan obecny i perspektywy.....	str. 205
Summary.....	str. 213
Streszczenie.....	str. 214