

GUSTAW ZABOROWSKI, RYSZARD NOWIŃSKI

Instytut Metali Nieżelaznych

WPŁYW ZGNIOTU I OBRÓBKII CIEPLNEJ NA TEMPERATURĘ CURIE
I WSPÓŁCZYNNIK TEMPERATUROWY MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI STOPU
ELINWAR TYPU NI-SPAN C1. Wstęp

Stopy na osnowie niklu i żelaza z dodatkiem chromu, wolframu lub molibdenu, zwane elinwarami, znalazły szerokie zastosowanie w precyzyjnych urządzeniach pomiarowych i kontrolnych. Posiadają one wysokie własności sprężyste oraz niezmienny moduł sprężystości w zakresie klimatycznych zmian temperatury. Ta ostatnia własność elinwarów związana jest z anomalią modułu sprężystości (tzw. efekt ΔE), występującą w stopach ferromagnetycznych. Przez odpowiedni dobór składu chemicznego można otrzymać stopy, których współczynniki temperaturowe modułu sprężystości są równe lub bliskie zero. Dużym postępowaniem w tej dziedzinie stały się elinwary utwardzane dyspersyjnie a wśród nich szeroko rozpowszechniony stop, znany pod nazwą Ni-Span C [1]. Skład chemiczny stopu Ni-Span C, wg W.A.Mudge i A.M.Talbot [2], jest następujący: 41-43% Ni, 5,1-5,7% Cr, 2,2-2,6% Ti, 0,4-0,8% Al, 0,3-0,6% Mn, 0,4-0,8% Si, max. 0,06% C, reszta Fe. Dla tego stopu współczynnik temperaturowy modułu Younga ($\beta = \frac{\Delta E}{E} \frac{1}{T}$) po przesycaaniu i starzeniu nie przekracza wartości $+18,10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, w zakresie temperatur -45 do $+65^{\circ}\text{C}$. Posiada on również wysoką dobroć mechaniczną Q , wynoszącą 8-16 tysięcy, dzięki czemu może być z powodzeniem stosowany na włosy zegarowe, membrany, rezonatory filtrów elektromechanicznych itp.

W Instytucie Metali Nieżelaznych w Gliwicach opracowano technologię elinwaru typu Ni-Span C oraz przeprowadzono badania wpływu obróbki cieplnej i składu chemicznego na współczynnik temperaturowy modułu sprężystości i dobroć mechaniczną. W niniejszej pracy przedstawiono niektóre wyniki tych badań, w szczególności wyniki pomiarów temperatury Curie (Q) i modułu sprężystości postaciowej (G).

2. Przygotowanie próbek

Materiał na próbki otrzymano z wytopu próżniowego o ciężarze 16 kG. Wlewek po odlaniu był ujednorodniany w temperaturze 1000°C przez 4 godz., następnie walcowany na gorąco na pręty o średnicy 18 mm i przeciągany na zimno do średnicy 10 mm, z międzyoperacyjnym przesycaniem z 1000°C. Skład chemiczny elinwaru był następujący:

Składnik	Ni	Cr	Ti	Al	Mn	Si	C	Fe
%	42,75	5,46	2,45	0,52	0,55	0,61	ok.0,02	reszta

Gotowe pręty o średnicy 10 mm posiadały zgnioty końcowe 15, 30, 50 i 70%, po uprzednim przesycaniu w wodzie z 1000°C. Próbki o podanych zgniotach starzono w temperaturach od 500 do 750°C przez 0,5-12 godz. po uprzednim odprężeniu w 400°C przez 4 godz., po wyjęciu z pieca chłodzono na wolnym powietrzu. Drugą serię próbek po zgniocie 50% przesycano z 1000°C przez 10 min. i starzono w 500-750°C przez 1-24 godz.

3. Metodyka pomiarów

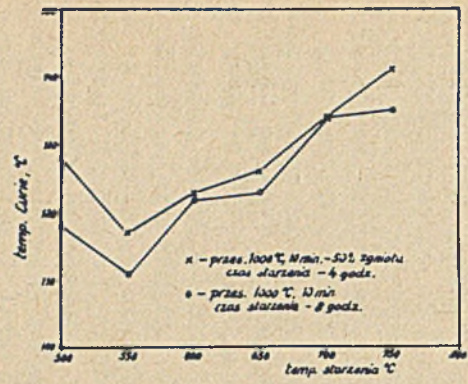
Na próbkach po przesycaniu, przeciąganiu na zimno i starzeniu wykonano próbę twardości HB, przy obciążeniu 187,5 kG kulką o średnicy 2,5 mm. Temperaturę Curie określano na termomagnetrometrze firmy Schildknecht z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$ na próbkach o średnicy 2,8 mm i długości 15 mm. Moduł sprężystości postaciowej G określano metodą dynamiczną przez wyznaczenie częstotliwości rezonansowej drgań sprężystych próbki. Próbkę pobudzano do drgań skrętnych, wykorzystując magnetostrykcyjne własności elinwaru. Przy długości 16 mm i średnicy próbki 6 mm częstotliwość rezonansowa wynosiła około 90 kHz. Oznaczenia G wykonano w zakresie temperatur -60 do $+80^\circ\text{C}$, w odstępach co 10 lub co 15°C . Równocześnie z częstotliwością rezonansową określano dobroć mechaniczną materiału Q . Pomiarzy G i Q zostały wykonane w Instytucie Tele-Radiotechnicznym w Warszawie.

4. Wyniki badań

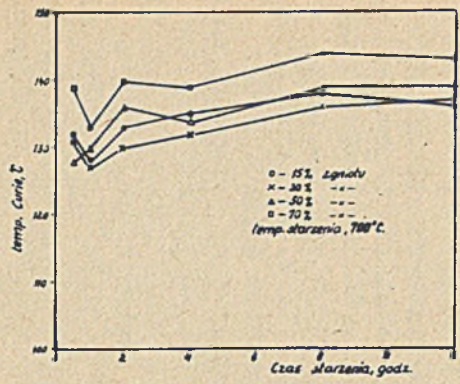
Twardość stopu zmienia się bardzo wyraźnie w zależności od stopnia zgniotu i obróbki cieplnej. Po przesycaniu z 1000°C materiał jest stosunkowo miękki i jego twardość w tym

stanie wynosi 120-125 HB. Zgniot na zimno w granicach od 15 do 70% powoduje wzrost twardości odpowiednio od 240÷340 HB. Starzenie po zgnioście na zimno pozwala uzyskać najwyższą twardość ok. 400 HB, natomiast bezpośrednie starzenie po przesycaaniu daje wartości 270 do 320 HB.

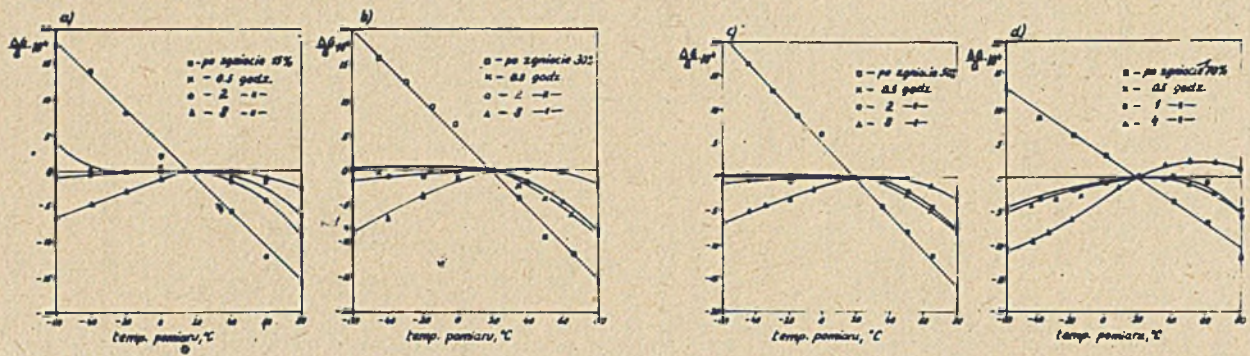
Temperatura Curie związana jest głównie ze składem chemicznym stopu, w mniejszym stopniu zmienia się w czasie obróbki cieplnej i przeróbki plastycznej. Zmiany temperatury Curie w zależności od temperatury, czasu starzenia oraz zgniotu na zimno przedstawiono na rys. 1 i 2. W stanie przesyconym wynosi ona 149°C , zaś po starzeniu w 550°C przez 4 godz. spada do 111°C . Obniżenie temperatury przemiany magnetycznej w początkowym okresie starzenia tłumaczone jest zmniejszeniem efektywnej zawartości niklu w procesie wydzielania [3]. Tytan i aluminium tworzą bowiem niemagnetyczne związki międzymetaliczne Ni_3Ti lub $\text{Ni}_3(\text{Al},\text{Ti})$, powodując zubożenie osnowy w nikiel. Przemieszczenie punktu Curie spowodowane jest również szeregiem innych czynników, wywołujących zmiany odległości międzyatomowych w sieci krystalicznej. Stwierdzono, że w elinwarze typu Ni-Span C naprężenia rozciągające podwyższają, a ściskające obniżają punkt Curie [3]. Wielkość tej zmiany dla badanego stopu jest rzędu $10 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}^2/\text{kg}$. Przesunięcie punktu przemiany magnetycznej jest sumarycznym wynikiem zmiany koncentracji oraz naprężeń wewnętrznych, powstałych w czasie obróbki cieplnej. Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów modułu sprężystości postaciowej, w zależności od stopnia zgniotu i czasu starzenia w 700°C . Wielkością charakteryzującą zmianę modułu sprężystości z temperaturą jest tzw. współczynnik temperaturowy modułu sprężystości $\frac{\Delta E}{E} \frac{1}{T}$ (lub $\frac{\Delta G}{G} \frac{1}{T}$). Krzywe przedstawione na rys. 3 pokazują względną zmianę modułu sprężystości postaciowej G jako funkcję temperatury pomiaru. Materiał niestarzony zachowuje się podobnie jak większość metali i stopów, jego współczynnik temperaturowy $\frac{\Delta G}{G} \frac{1}{T}$ wynosi około $30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Po starzeniu moduł sprężystości poniżej punktu Curie zmienia się z temperaturą bardzo nieznacznie. Najbardziej stabilny jest on po zgnioście 30 do 50% i starzeniu 0,5-2 godz. w 700°C . Tak obrobiony materiał posiada współczynnik temperaturowy $\frac{\Delta G}{G} \frac{1}{T}$ mniejszy od $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ i dobroć mechaniczną Q równą 10 do 12 tysięcy. Wyniki pomiarów wskazują, że próbki o najbardziej stabilnym module sprężystości posiadają najniższy punkt Curie.



Rys.1. Zmiany temperatury Curie w zależności od temperatury starzenia



Rys.2. Zmiany temperatury Curie w zależności od czasu starzenia i stopnia zgniotu, po przesycaniu 1000°C, 10 min.



Rys.3. Zmiany modułu sprężystości w zależności od stopnia zgniotu i czasu starzenia, a - 15%, b - 30%, c - 50%, d - 70% zgniotu, temperatura starzenia 700°C

Z przeprowadzonych badań wynika, że temperatura Curie, po gwałtownym spadku w początkowym okresie starzenia, wzrasta powoli z temperaturą i czasem wygrzewania. Temperatura posiada większy wpływ na wartość punktu Curie, niż czas wygrzewania w procesie starzenia.

Z danych literaturowych [5] oraz badań własnych wynika, że temperatura starzenia posiada zasadniczy wpływ na współczynnik temperaturowy modułu sprężystości i winna być ustalona z dokładnością $\pm 5^{\circ}\text{C}$, w zależności od składu chemicznego oraz przeznaczenia materiału. Duża stabilność modułu sprężystości, wysokie własności wytrzymałościowe i dobroć mechaniczna a także odporność na korozję, czynią badany elinwar w pełni przydatny na precyzyjne elementy sprężyste.

LITERATURA

- [1] N.B.Pilling, A.M.Talbot - Age Hardening of Metals, ASM, Cleveland, Ohio, 1940, str.231, U.S.Patent Nr 2226482.
- [2] W.A.Mudge, A.M.Talbot - Iron Age 157, 1946, str.66.
- [3] F.C.Hawkes - Journal of Applied Physics 30 (4), Supplement, str.2065.
- [4] K.P.Biełow - Uprugije, tiepłowyje i elektriczeskije jawlenia w fierromagnetikach, Moskwa 1957.
- [5] Wilco Ni-Span C, Constant Modulus Alloy, H.A.Wilson Company.