



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**Prof. dr hab. inż. Maria Richert,
Wydział Metali Nieżelaznych**

Kraków, 2013-09-09

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Reclik n.t.: „Wpływ wydzielen fazy γ na strukturę i właściwości ferromagnetycznych stopów z pamięcią kształtu Ni-Co-Mn-In”

Materiały z pamięcią kształtu obejmują interesującą dziedzinę inżynierii materiałowej, dotyczącą zarówno informacji z zakresu nauk podstawowych jak również zastosowań aplikacyjnych. Efekt pamięci kształtu jest zjawiskiem fizycznym występującym w wyniku bezdyfuzyjnej, odwracalnej, termosprężystej przemiany martenzytycznej. Ponadto literatura wskazuje także na możliwość występowania tego zjawiska wskutek przyłożenia zewnętrznego pola magnetycznego. Pamięć kształtu została stwierdzona w stopach na osnowie niklu, kobaltu i żelaza.

Wśród licznych rodzajów stopów charakteryzujących się cechami pamięci kształtu Pani mgr inż. Katarzyna Reclik wybrała do badań stopy Ni-Co-Mn-In, które mogą stanowić zamiennik stopów Ni-Mn-Ga, a których przewaga wynika z niższych kosztów wytworzenia.

Celem pracy była ocena możliwości kontrolowania właściwości funkcjonalnych wybranego do badań stopu poprzez obecność wydzielen fazy γ , ze szczególnym uwzględnieniem właściwości mechanicznych.

Praca doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Reclik obejmuje 115 stron. Część teoretyczna została przedstawiona na 40 stronach i zawiera podstawowe informacje na temat mechanizmów przemian prowadzących do występowania zjawiska pamięci kształtu, rodzajów stopów, w których występuje zjawisko pamięci kształtu i możliwości ich zastosowania. Autorka powoływała się w tej części pracy na 99 pozycji literaturowych.

Badania własne czterech wybranych stopów Ni-Co-Mn-In, oznaczonych A,B,C i D, różniących się zawartością pierwiastków objęły: rentgenowską analizę strukturalną, mikroskopię elektronową, badania kalorymetryczne, badania magnetyczne i badania właściwości mechanicznych. Dobór metod badawczych jest bardzo trafny i umożliwia rzetelną weryfikację postawionej tezy pracy. W celu oceny struktury wyjściowej zastosowano nowoczesną technikę EDS, posługując się elektronowym mikroskopem skaningowym. Pozwoliło to na ocenę wyjściowej dystrybucji fazy γ w badanych stopach. Na podkreślenie zasługuje przeprowadzenie ilościowej oceny udziału fazy γ , dowodzące wnikliwego

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Metali Nieżelaznych**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 26 51, +48 12 617 20 42, fax +48 12 633 23 16
Bank PEKAO S.A. Kraków, 96 1240 4722 1111 0000 4858 2922
REGON: 000001577, NIP: 6750001923
e-mail: wmn@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl

opracowania uzyskanych danych oraz dbałości o osiągnięcie jak najdokładniejszych wyników. Przedstawiono także krystalograficzne dane, opracowane na podstawie szczegółowych badań dyfrakcyjnych, które potwierdziły występowanie martenzytu. Posługując się technikami transmisyjnej mikroskopii elektronowej, w badanych stopach stwierdzono dużą gęstość bliźniaków oraz siedmiowarstwowy martenzyt 14M.

Pani mgr inż. Katarzyna Reclik stosując techniki transmisyjnej mikroskopii elektronowej, takie jak wysokorozdzielcza mikroskopia elektronowa, identyfikacja fazowa oraz inne wykazała bardzo dobre przygotowanie eksperymentalne, które świadczy o dojrzałym warsztacie badawczym Doktorantki.

Temperaturę przemiany martenzytycznej wyznaczono metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC). Otrzymane wartości temperatury Curie oraz temperatury początku przemiany martenzytycznej skorelowano z obliczonymi wartościami stężenia elektronowego. Stwierdzono, że ze zmniejszeniem się wartości stężenia elektronowego e/a następuje obniżanie się wartości temperatury początku przemiany martenzytycznej M_s i wzrost temperatury Curie.

Po przeprowadzonej analizie stanu wstępnego stopów przeprowadzono badania wpływu wyżarzania na strukturę i temperatury przemiany martenzytycznej. W dwóch stopach stwierdzono oprócz fazy martenzytycznej obecność wydzieleni fazy γ , wzbogaconych w kobalt i nikiel. Około 70% tych wydzieleni wykazywała wielkość $4 \mu\text{m}^2$. W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskanych danych ustalono, że w stopach po wyżarzaniu, temperatury przemiany martenzytycznej przesuwają się w stronę niższych wartości ze wzrostem zawartości fazy γ .

Kolejnym etapem przeprowadzonych badań było oszacowanie wpływu przesycaenia na strukturę i temperatury przemiany martenzytycznej. Wykazano obecność fazy γ w stopach oznaczonych B, C i D, przy czym liczba cząstek tej fazy uległa wyraźnemu zmniejszeniu. Osnowa została wzbogacona w kobalt i nikiel, w porównaniu do stanu wyjściowego i stanu po wyżarzaniu.

W kolejnych rozdziałach pracy doktorskiej, podsumowując i dyskutując uzyskane wyniki Pani mgr inż. Katarzyna Reclik przeprowadziła analizę wpływu fazy γ na temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej, właściwości wytrzymałościowe oraz twardość i własności sprężyste badanych stopów. Praca jest zakończona wnioskami.

Interesujących danych dostarczyły wyniki badań właściwości, które wykazały wzrost wytrzymałości stopów ze wzrostem udziału fazy γ , przy jednoczesnym wzroście plastyczności. Autorka tłumaczy to zjawisko odkształcalnością cząstek fazy γ przy braku odkształcalności osnowy. Z drugiej strony ustalono, że wzrost udziału fazy γ powoduje ograniczenie występowanie zjawiska pamięci kształtu. Uzyskane dane wskazują, że stosując odpowiednią obróbkę cieplną można skutecznie wpływać na udział fazy γ w strukturze, a przez to na własności stopów z pamięcią kształtu.

W pracy, w trakcie omawiania wyników badań oraz w rozdziale końcowym zatytułowanym „Dyskusja wyników” odczuwa się pewien niedosyt głębszej interpretacji wyników, w szczególności w odniesieniu do mechanizmów odpowiedzialnych za odkształcenie stopów i zjawisk zachowania spójności na granicy faz, co jednak nie umniejsza naukowej wartości dysertacji i jego bardzo wysokiej pozytywnej oceny.

Interesujące byłoby także rozważenie jaki byłby optymalny udział fazy γ oraz jego dystrybucja w stopie przy zachowaniu najlepszych własności wytrzymałościowych

i plastycznych i jednoczesnym utrzymaniu najwyższych parametrów zjawiska pamięci kształtu, umożliwiających wytworzenie wysokiej jakości urządzeń do zastosowań praktycznych.

Szata graficzna pracy jest nienaganna. Praca napisana jest przejrzysto, a styl i sposób przedstawienia wyników świadczy o perfekcyjnym opanowaniu technik edytorskich. Prezentowane wykresy i rysunki jasno przedstawiają zależności obrazujące uzyskane przez Doktorantkę dane naukowe.

Ocena końcowa i wnioski

Praca doktorska mgr inż. Katarzyny Reclik n.t.: „Wpływ wydzieleni fazy γ na strukturę i właściwości ferromagnetycznych stopów z pamięcią kształtu Ni-Co-Mn-In” przedstawia wyniki dotyczące jednego z ważnych kierunków badawczych na Wydziale Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego. Przedstawione w pracy dane wnoszą istotny wkład wiedzy w dziedzinę inżynierii materiałowej, o fundamentalnym znaczeniu dla zrozumienia zjawisk stanowiących podstawę umożliwiającą wytwarzanie materiałów z pamięcią kształtu, z perspektywnym zastosowaniem w przemyśle maszynowym na aktuatorach magneto-mechanicznych. Wykonane przez Doktorantkę badania przyczynią się do wzbogacenia wiedzy z zakresu tematyki objętej dysertacją, której niedosyt jest odczuwany w literaturze krajowej i światowej. Informacje naukowe prezentowane w przedstawionej dysertacji mają ważne znaczenie poznawcze i przyszłościowe zastosowanie aplikacyjne.

Osiągnięte przez Kandydatkę wyniki były trudne do uzyskania. Stąd duże uznanie budzi umiejętne dobranie technik badawczych z priorytetowym oparciem badań na jednej z nowoczesnych metod oceny struktury – elektronowej mikroskopii transmisyjnej i skaningowej oraz finezyjnej metodzie analizy składu chemicznego w mikroobszarach - EDS.

Kolejnym godnym uznania walorem pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Reclik jest kompleksowa ocena zjawisk zachodzących w badanych stopach oraz prawidłowa interpretacja zachodzących zjawisk, co umożliwiło uzyskanie założonego celu pracy, czyli określenie najlepiej nadającego się do potencjalnych zastosowań składu stopu z badanej grupy Ni-Co-Mn-In.

W mojej ocenie praca doktorska mgr inż. Katarzyny Reclik stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe. Oceniam ją wysoko mając na względzie wkład pracy, samodzielne wykonanie i opracowanie oraz uzyskanie wartościowych wyników, które wzbogacają podstawową wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej. Uważam, że praca doktorska mgr inż. Katarzyny Reclik zasługuje nie tylko na duże uznanie lecz także na wyróżnienie.

W mojej opinii praca doktorska mgr inż. Katarzyny Reclik spełnia wymogi stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego.

