

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

PRACA DOKTORSKA

*Projektowanie składu chemicznego stopów aluminium o strukturze amorficznej,
nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej w oparciu o obliczenia termodynamiczne*

mgr inż. Katarzyna Młynarek-Żak

Dyscyplina: Inżynieria Materiałowa

Promotor:

dr hab. inż. Rafał Babilas, prof. PŚ

Gliwice 2023

Streszczenie

Dynamiczny rozwój przemysłu stwarza zapotrzebowanie na wysokiej jakości stopy aluminium, które są stosowane na ważne elementy konstrukcyjne. Aspekty ekologiczne związane z ograniczonymi zasobami naturalnymi stanowią szczególne wyzwanie dla współczesnej inżynierii materiałowej. Naukowcy ponownie zwrócili uwagę na stopy lekkie, szczególnie na bazie aluminium, równocześnie podkreślając istotne znaczenie nowo opracowanych składów chemicznych. Pomimo licznych artykułów naukowych, brakuje uporządkowanych danych na temat reguł projektowania oraz wytwarzania determinujących uzyskanie określonej struktury w zależności od składu chemicznego w nowo opracowanych stopach aluminium.

Celem pracy było zaprojektowanie składów chemicznych stopów trójskładnikowych Al-(Cr,Cu,Zr,Ni)-Fe oraz czteroskładnikowych Al-Ni-Fe-Y dla uzyskania struktury amorficznej, nanokrystalicznej oraz złożonych faz międzymetalicznych. W tezie badawczej założono, że na podstawie parametrów związanych z energią swobodną Gibbsa, entalpią mieszania i entropią niedopasowania możliwe jest wytworzenie stopów o złożonej strukturze atomowej wraz z poprawą własności fizykochemicznych.

Część badawcza została podzielona na trzy części dotyczące badań struktury i własności stopów $Al_{65}(Cu,Zr,Cr,Ni)_{20}Fe_{15}$ oraz $Al_{71}(Cu,Zr,Cr,Ni)_{24}Fe_5$, struktury i odporności korozyjnej stopów $Al_{79}Ni_5Fe_5Y_{11}$, $Al_{79}Ni_5Fe_{11}Y_5$, $Al_{79}Ni_{11}Fe_5Y_5$ i $Al_{79}Ni_7Fe_7Y_7$ oraz weryfikacji parametrów termodynamicznych. Badania struktury przeprowadzono z zastosowaniem dyfrakcji rentgenowskiej, dyfrakcji neutronów, mikroskopii świetlnej, skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz spektroskopii Mössbauera. Mechanizmy krystalizacji zostały opisane na podstawie skaningowej kalorymetrii różnicowej. W celu weryfikacji wpływu złożonych faz międzymetalicznych, przeprowadzono badania wybranych własności magnetycznych, elektrochemicznych oraz mechanicznych dla stopów $Al_{65}(Cu,Zr,Cr,Ni)_{20}Fe_{15}$ oraz $Al_{71}(Cu,Zr,Cr,Ni)_{24}Fe_5$. Badania odporności korozyjnej metodą potencjodynamiczną przeprowadzono również dla stopów $Al_{79}Ni_5Fe_5Y_{11}$, $Al_{79}Ni_5Fe_{11}Y_5$, $Al_{79}Ni_{11}Fe_5Y_5$ i $Al_{79}Ni_7Fe_7Y_7$.

Na podstawie przeprowadzonych badań struktury, zidentyfikowano fazę kwazikrystaliczną dla stopu wstępnego $Al_{65}Cu_{20}Fe_{15}$ oraz płytek odlewanych wysokociśnieniowo do form miedzianych $Al_{65}Cu_{20}Fe_{15}$, $Al_{71}Cu_{24}Fe_5$, $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$. Ponadto, dla stopów Al-Cr-Fe wykazano

Katarzyna Młynarek-Żak

obecność fazy międzymetalicznej $Al_{65}Cr_{27}Fe_8$ o złożonej strukturze. Strukturę amorficzną uzyskano dla stopu $Al_{79}Ni_5Fe_5Y_{11}$ odlewane go z temperatury $1400^{\circ}C$ oraz dla stopu $Al_{79}Ni_{11}Fe_5Y_5$ odlewane go z temperatury $1200^{\circ}C$. Stop $Al_{79}Ni_5Fe_{11}Y_5$ oraz $Al_{79}Ni_7Fe_7Y_7$ w postaci taśm charakteryzowały się strukturą nanokrystaliczną. Na podstawie badań z zastosowaniem spektroskopii Mössbauera określono, że wszystkie badane stopy charakteryzowały się własnościami paramagnetycznymi. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano znaczący wpływ składu chemicznego na zachowanie korozyjne badanych stopów. Równocześnie, stwierdzono pozytywny wpływ faz o złożonej strukturze na odporność korozyjną, ze względu na większy opór polaryzacyjny i mniejszą gęstość prądu korozyjnego dla stopów $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$ oraz $Al_{71}Cu_{24}Fe_5$ wytworzonych w postaci płytek zawierających fazy kwazikrystaliczne.

Ponadto, udowodniono, pozytywny wpływ struktury amorficznej w stopach Al-TMs-REEs na odporność korozyjną w porównaniu do stopów o strukturze krystalicznej i nanokrystalicznej. Spośród stopów $Al_{65}(Cr,Zr,Cu,Ni)_{20}Fe_{15}$ oraz $Al_{71}(Cr,Zr,Cu,Ni)_{24}Fe_5$, największą średnią twardością charakteryzowały się stopy z dodatkiem chromu oraz niklu, natomiast najmniejszą z cyrkonem oraz miedzią. Wykazano, że odporność na zużycie ściernie stopów $Al_{65}Cr_{20}Fe_{15}$, $Al_{71}Cr_{24}Fe_5$ oraz $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$ jest zbliżona do jednofazowych stopów o złożonej strukturze opisywanych w literaturze.

Na podstawie obliczeń termodynamicznych dla stopów Al-TMs, ustalono tendencję formowania faz o złożonej strukturze dla wartości energii swobodnej Gibbsa mieszania oraz formowania struktury amorficznej skierowanych w stronę wartości dodatnich. Dla stopów Al-Ni-Fe-Y o największych wartościach entropii niedopasowania wraz z ujemną entalpią stwierdzono możliwość występowania struktury amorficznej przy zastosowaniu odpowiednich parametrów technologicznych tj. temperatury odlewania. Ponadto, określono, że istnieje szeroki zakres entalpii mieszania, dla których można uzyskać strukturę amorficzną.