

Katarzyna Stan-Głowińska

Streszczenie

Przedmiotem badań prowadzonych w ramach pracy doktorskiej były stopy aluminium z układu Al-TM (TM — metal przejściowy) o strukturze składającej się z mikro lub nano-cząstek kwazikrystalicznych stanowiących fazę umacniającą, umieszczonych w osnowie roztworu stałego aluminium. Faza kwazikrystaliczna ze względu na swoją budowę wewnętrzną ma niezwykle własności, między innymi wysoką twardość oraz bardzo dobrą odporność na ścieranie. Drobne cząstki tej fazy w połączeniu z miękką, plastyczną osnową pozwalają uzyskać korzystne własności mechaniczne stopu, w tym bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie, przekraczającą 1000 MPa oraz wysoką twardość.

Wyjściowym materiałem do badań był stop $\text{Al}_{91}\text{Mn}_7\text{Fe}_2$ otrzymany metodą szybkiej krystalizacji na wirujący walec (melt spinning), wykazujący bardzo dobre własności mechaniczne (wytrzymałość na zerwanie 1250 MPa). Ikozaedryczna faza kwazikrystaliczna występująca w tym stopie jest fazą metastabilną i podczas wygrzewania, w temperaturze około 623 K (350 °C), ulega przemianie w stabilną fazę krystaliczną. Powstająca faza międzymetaliczna cechuje się niższymi parametrami mechanicznymi, nieregularną morfologią oraz dużą kruchością, co z kolei powoduje spadek własności mechanicznych materiału. Prowadzone badania miały na celu zwiększenie stabilności termicznej fazy kwazikrystalicznej w badanym stopie poprzez wprowadzanie niewielkiej ilości dodatków stopowych z grupy metali przejściowych o niskim współczynniku dyfuzji w aluminium (Zr, Hf, Cr, Ti, Mo, W oraz V). Podwyższona stabilność fazy kwazikrystalicznej umożliwia zachowanie własności mechanicznych stopu w podwyższonej temperaturze, jak również przejście od materiału modelowego, jakim są szybko chłodzone taśmy o grubości 20-60 μm , do materiału masywnego otrzymanego poprzez prasowanie na gorąco rozdrobnionych taśm.

Prowadzone prace polegały na wytworzeniu nowych stopów wieloskładnikowych na bazie $\text{Al}_{91}\text{Mn}_7\text{Fe}_2$ za pomocą szybkiej krystalizacji oraz przeprowadzenie charakterystyki ich mikrostruktury i własności. Otrzymane taśmy zostały scharakteryzowane pod względem własności mechanicznych (analiza

termomechaniczną, badania mikrotwardości), mikrostruktury (skład fazowy wraz z analizą chemiczną metodami skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz dyfrakcji rentgenowskiej), stabilności termicznej (skaningowa kalorymetria różnicowa). Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie wpływu dodatków stopowych na morfologię i rozmiar cząstek kwazikryształu, jednorodność rozmieszczenia oraz ich udział objętościowy w stopie. Ponadto wyznaczono temperaturę przemiany fazy kwazikrystalicznej w fazę krystaliczną w powiązaniu ze zmianami własności mechanicznych. Po wyselekcjonowaniu najbardziej efektywnych dodatków (mających korzystny wpływ na własności mechaniczne stopu oraz znacząco podwyższające stabilność termiczną umacniającej fazy kwazikrystalicznej} wytworzono materiały w formie masywnej poprzez sprasowanie rozdrobnionych taśm.

Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano następując wniosk:

- W szybkochłodzonym stopie $\text{Al}_{50}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{30}$ uzyskano strukturę dwufazową składającą się z ikozaedrycznych cząstek kwazikrystalicznych i roztworu stałego aluminium. Wysokie wartości otrzymanej mikrotwardości (do 340 HV) wynikają zarówno z rozdrobnienia cząstek kwazikrystalicznych (których udział w materiale wynosi około 50 %) jak również z ich dobrego połączenia z osnową potwierdzonego obecnością relacji krystalograficznych pomiędzy obiema fazami.

Metastabiina faza ikozaedryczna powstała w szybko chłodzonych taśmach ulega przemianie w krystaliczną fazę $\text{Al}_5(\text{Mn}, \text{Fe})$ o strukturze rombowej, która tworzy warstwę na granicy faz kwazikryształ/osnowa podczas wygrzewania w temperaturze 673 K (400 °C). Rozpad fazy kwazikrystalicznej prowadzi do zmiany własności mechanicznych: spadku mikrotwardości i dużej kruchości.

- W taśmach czteroskładnikowych $\text{Al}_{50}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{30}\text{X}$ podstawienie manganu (1 %at.) pierwiastkami: Zr, Hf, Cr, Ti, Mo, W lub V nie wpływa znacząco na zmianę składu fazowego próbek. Dodatki stopowe są głównie rozpuszczone w fazie ikozaedrycznej, z wyjątkiem Zr i Hf, które znajdują się głównie w osnowie tworząc roztwór stały z aluminium lub drobne wydzielienia typu Al_3X (w przypadku Zr wydzielienia o strukturze $\text{L}_{12}\text{-Al}_3\text{Zr}$) powodując dodatkowe umocnienie materiału zarówno w stanie po odlaniu jaki po wygrzewaniu.

- Największe przesunięcie piku egzotermicznego związanego z przemianą fazy kwazikrystalicznej w stabilną fazę krystaliczną (od 70 do 90 K) zaobserwowano dla próbek zawierających Mo, W oraz V. Pierwiastki te charakteryzują się najniższym współczynnikiem dyfuzji w aluminium wśród zastosowanych dodatków. Przemiana fazy kwazikrystalicznej, podobnie jak w przypadku taśm trójskładnikowych, rozpoczyna się na granicy kwazikryształ/osnowa i jest kontrolowana poprzez dyfuzję manganu oraz żelaza.
- Obniżona zawartość manganu w taśmach o składzie $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1$ powoduje zmniejszenie udziału fazy kwazikrystalicznej powstałej podczas szybkiego krzepnięcia do około 10-15%, co prowadzi do spadku twardości, a jednocześnie do poprawy plastyczności wytworzonych taśm.
- Wprowadzenie do stopu $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1$ dodatku Mo i Zr prowadzi do zachowania pozytywnego wpływu obu pierwiastków na właściwości taśm. Twardość taśmy o składzie $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1\text{Zr}_1$ wzrasta w porównaniu do taśmy $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1$ podczas gdy temperatura rozpadu fazy ikozaedrycznej nieznacznie spada, lecz jest znacznie wyższa niż w przypadku stopu trójskładnikowego.
- Próbki masywne zostały wytworzone poprzez prasowanie na gorąco rozdrobnionych taśm o składzie $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1$, $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1\text{Zr}_1$ oraz $\text{Al}_{94}\text{Mn}_4\text{Fe}_1\text{Mo}_1\text{Zr}_1$. Faza kwazikrystaliczna pozostaje częściowo zachowana w obu próbkach zawierających dodatek molibdenu, podczas gdy w próbce o wyjściowym składzie potrójnym zachodzi jej całkowita przemiana w fazę krystaliczną. Próbka zawierająca dodatek Mo i Zr posiada najwyższą mikrotwardość (około 430 HV) związaną z dodatkową obecnością wydzieliń fazy Al_3Zr . Maksymalna wytrzymałość na ściskanie zmierzona dla wszystkich próbek wyniosła powyżej 1000 MPa.
- Na podstawie otrzymanych wyników badań udowodniono, że dodatek pierwiastków stopowych charakteryzujących się niskim współczynnikiem dyfuzji w aluminium prowadzi do poprawy stabilności termicznej fazy kwazikrystalicznej w stopach z układu Al-Mn-Fe. To z kolei umożliwia wytworzenie masywnych próbek o mikrostrukturze zbliżonej do mikrostruktury wyjściowych taśm i korzystnych właściwościach mechanicznych.

Download

[Streszczenie \(PDF\)](#)

[Recenzja dr hab. inż. B. Dubiela \(PDF\)](#)

[Recenzja dr hab. inż. G. Mrówki-Nowotnik \(PDF\)](#)