

## **“Charakterystyka kompozytów Al-AlN wytwarzanych z zastosowaniem mechanicznej syntezy lub metody *in-situ*”**

### **STRESZCZENIE**

Przedmiotem badań przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej były kompozyty na osnowie stopu aluminium (AMC, ang. *aluminium matrix composite*) wzmacniane dyspersyjnie cząstkami ceramicznymi. Materiały tego typu cechuje na ogół niska masa właściwa, charakterystyczna dla stopu aluminium, większa wytrzymałość, sztywność, odporność zmęczeniowa oraz odporność na zużycie. Jednocześnie, materiały te zachowują swoje własności w wyższym zakresie temperatur niż stop osnowy. Uzyskanie podwyższonych właściwości mechanicznych, względem materiału osnowy, wymaga jednak zastosowania stabilnych termodynamicznie cząstek ceramicznych tworzących mocne połączenie z metalową osnową, a przede wszystkim, równomiernie w niej rozmieszczonych. Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższe wymagania stawiane kompozytom AMC, szczególnym wyzwaniem jest znalezienie odpowiedniej metody wytwarzania takich materiałów.

Za główny cel pracy przyjęto próbę wytworzenia nowej grupy kompozytów Al/AlN o podwyższonych właściwościach mechanicznych w stosunku do opracowanych już dotychczas kompozytów wzmacnianych np. takimi cząstkami ceramicznymi jak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  czy SiC. Prace obejmowały zbadanie możliwości otrzymywania takich materiałów dwiema różnymi metodami, tj. na drodze mechanicznej syntezy połączonej z prasowaniem na gorąco (metoda *ex situ*), a także poprzez reakcję ciekłego aluminium z wprowadzonym do niej azotkiem magnezu (metoda *in situ*). W obu przypadkach, podjęto próbę optymalizacji parametrów tych procesów pod kątem maksymalizacji własności mechanicznych wytwarzanych materiałów.

Materiały kompozytowe wytworzone *ex situ* zawierały 10 oraz 20% wag. fazy wzmacniającej AlN o trzech różnych wielkościach cząstek ( $<40\ \mu\text{m}$ ,  $\sim 1\ \mu\text{m}$  oraz  $< 1\ \mu\text{m}$ ) wprowadzanych do osnowy w procesie wysokoenergetycznego mielenia w młynie kulowym. Z kolei, w przypadku kompozytów otrzymywanych *in situ*, cząstki AlN wytwarzane były bezpośrednio w osnowie, na drodze reakcji ciekłego Al z azotkiem magnezu. Uzyskane materiały zostały scharakteryzowane pod kątem mikrostruktury, składu chemicznego i fazowego poprzez zastosowanie dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), mikroskopii świetlnej, a także skaningowej i transmisyjnej mikroskopii transmisyjnej (SEM, TEM) w połączeniu z mikroanalizą rentgenowską (EDS).

Sprawdzenie właściwości mechanicznych kompozytów przeprowadzono głównie w testach mikrotwardości oraz testach wytrzymałości na ściskanie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że mechaniczna synteza w połączeniu z prasowaniem na gorąco pozwala na wytworzenie materiału kompozytowego Al/AlN o nanokrystalicznej osnowie i w przybliżeniu równomiernym rozmieszczeniu nawet submikronowych cząstek AlN. Najlepsze właściwości mechaniczne otrzymano w materiałach z dodatkiem cząstek o pośredniej wielkości, co wynika z faktu, że cząstki te nie tylko doprowadziły do największego rozdrobnienia struktury osnowy w procesie wysokoenergetycznego mielenia, ale także zostały równomiernie rozprowadzone w całej objętości osnowy. Ponadto, porównanie efektywności mechanizmów wzmacniających w wytworzonych materiałach, pozwoliło zaobserwować, że dominujący wpływ na poprawę właściwości mechanicznych materiałów miała mechaniczna synteza (dająca ~50% wzrost twardości), natomiast dodatek cząstek AlN miał mniejszy udział we wzmacnieniu materiału (dodatkowy 10-30% wzrost).

W przypadku kompozytów wytwarzanych *in situ* udowodniono wysoką efektywność reakcji  $Mg_3N_2$  z ciekłym aluminium, która skutkuje utworzeniem cząstek AlN. Obserwacje mikrostruktury produktów tej reakcji (cząstki AlN w osnowie AlMg) pozwoliły na zaproponowanie mechanizmu oddziaływania ciekłego metalu z wprowadzonym do niego substratem. Ponadto, odnotowano, że najprostszą możliwością kontroli udziału fazy ceramicznej w takim kompozycie daje zróżnicowanie ilości wprowadzonego do osnowy azotku magnezu. Równolegle, stwierdzono możliwość uzyskania tą drogą kompozytów Al/AlN o znacznie wyższym udziale frakcji ceramicznej, niż w przypadku mechanicznej syntezy. Lokalnie, mikrotwardość wytworzonych tą metodą kompozytów, określona w obszarach o maksymalnej zawartości cząstek, dochodziła nawet do 500 HV, tym samym znacznie przewyższając wartości uzyskane w kompozytach uzyskiwanych *ex situ*.