

Opracowanie technologii mechanicznej syntezy wytwarzania kwazikryształów Al-Cu-Fe jako fazy wzmacniającej w kompozytach i ich charakteryzacja

Development of quasicrystalline Al-Cu-Fe phase formation by mechanical alloying as reinforcement in composites and their characterization.

Mikołaj Mitka

Streszczenie

Kompozyty na osnowie aluminium posiadają niską gęstość charakterystyczną dla stopów Al, przy jednoczesnym podwyższeniu właściwości mechanicznych spowodowanym obecnością wysokowytrzymałej fazy wzmacniającej. Wykorzystanie jako

umocnienia kwazikryształów z układu Al-Cu-Fe jest obiecujące ze względu na ich wysoką twardość, wysoki moduł sprężystości, odporność na ścieranie i niską energię powierzchniową, jak również na dobre połączenie na granicy osnowa/cząstka spowodowane brakiem kruchych faz tlenkowych, które mogą się tworzyć w kompozytach ceramicznych.

Przedmiotem pracy doktorskiej było wytworzenie przy pomocy metalurgii proszków kompozytów na osnowie aluminium lub stopu aluminium serii 6000 wzmocnionych cząstkami kwazikrystalicznymi z układu Al-Cu-Fe oraz przeprowadzenie charakterystyki mikrostruktury i właściwości mechanicznych otrzymanych materiałów.

Cząstki Al-Cu-Fe w postaci proszku o wielkości około 30 μm uzyskano przy użyciu metody mechanicznej syntezy. Proces mechanicznej syntezy prowadzony był w wysokoenergetycznym młynie kulowym przy zastosowaniu zmiennych parametrów (prędkość obrotowa, czas mielenia oraz czynnik powierzchniowo czynny) w celu zweryfikowania ich wpływu na strukturę i morfologię wytworzonych proszków. W oparciu o wyniki badań strukturalnych (analiza rentgenowska, skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa) określono warunki mielenia prowadzące do wytworzenia jednofazowego stopu o strukturze ikosaedrycznej.

W następnym etapie wytworzono kompozyty na osnowie Al lub stopu 6061 zawierające 30 %obj. proszku $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{15}$ mielonego 10 godzin z prędkością 350 obr./min. w obecności heksanu. Cząstki proszku zawierały ziarna fazy ikosaedrycznej o rozmiarach rzędu 10-50 nm. Zastosowano dwie metody konsolidacji proszków: spiekanie swobodne w różnych temperaturach i prasowanie na gorąco w próżni. Określono optymalne warunki spiekania swobodnego: ogrzewanie do temperatury 400-450 °C przez 30 minut. Prasowanie na gorąco w próżni prowadzono pod ciśnieniem 600 MPa w temperaturze 400 °C przez 10 minut.

Wykonano pełną charakterystykę mikrostruktury otrzymanych kompozytów, jak również określono ich właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie oraz twardość). Wykazano, że podczas

konsolidacji następuje częściowa lub całkowita przemiana fazy ikosaedrycznej w fazę krystaliczną fazę ω -Al₇Cu₂Fe o zbliżonych właściwościach mechanicznych. Związana z tym procesem zmian składu chemicznego prowadzi do wzrostu objętości fazy umacniającej, co prowadzi do zmniejszenia porowatości. Kompozyty na podstawie Al uzyskane przy użyciu obu metod, posiadały zbliżone właściwości mechaniczne (twardość 92-98 HV5, wytrzymałość na ściskanie 370-390 MPa, granicę plastyczności 230-240 MPa). Zastosowanie stopu 6061 jako osnowy spowodowało wzrost twardości do 150 HV5 oraz wytrzymałości do 465 MPa i granicy plastyczności do 430 MPa przy równoczesnym spadku plastyczności o ponad 50%.

Abstract

Aluminum Matrix Composites (AMCs) combine both low density, characteristic for Al-based alloys, and higher mechanical properties related with tough and hard reinforcement phase. Due to its properties, the quasicrystalline powder from Al-Cu-Fe ternary system is promising reinforcing phase in AMCs. Al-Cu-Fe icosahedral phase has good parameters like: high hardness, high Young modulus, low friction coefficient, low surface energy and good Al-Cu-Fe/Al interphase connection due to lack of brittle oxides, which could be observed in ceramic composites.

Main objective of doctoral thesis was to produce composites based on Al or its alloys reinforced by quasicrystalline particles from Al-Cu-Fe system and to investigate their microstructure and mechanical properties.

Al-Cu-Fe alloy particles in the form of powder with approximately size of 30 μm were prepared by mechanical alloying method using high-energy ball mill. During experiments variable parameters (milling speed, milling time and process control agent) were used to verify their influence on prepared powder structure and morphology. Based on results of structural investigations (XRD, SEM and TEM), milling parameters leading to icosahedral phase were established.

In the next step composites based on Al or 6061 alloy containing 30% vol. of Al₆₅Cu₂₀Fe₁₅ powder milled at 350 rpm for 10h in the presence of hexane were prepared. Powder particles contained icosahedral grains with size of 10-50 nm. Two consolidation techniques were used: pressureless sintering and hot pressing in vacuum. Optimal sintering parameters for pressureless sintering: heating up to 400-450 °C for 30 minutes. Hot pressing was performed at temperature 400 °C and under pressure of 600 MPa for 10 minutes.

For prepared composites, microstructure characteristics and mechanical properties (hardness and compression tests) were performed. It has been shown, that during consolidation partial or full transformation of icosahedral phase into crystal ω -Al₇Cu₂Fe phase with similar mechanical properties took place. Composition changes related with this process led to growth of the reinforcement phase volume, which caused porosity reduction. Composites based on aluminum obtained by both methods had similar mechanical properties (92-98 HV5 hardness, 370-390 MPa compressive strength, yield strength 230-240 MPa). The use of 6061 alloy as the matrix led to increase of hardness up to 150 HV5 and compressive strength up to 465 MPa with 430 MPa yield strength and simultaneously reduction of plasticity over 50%.

[Recenzja - Prof. T. Moskalewicz](#)

[Recenzja - Prof. D. Oleszak](#)