

STRESZCZENIE

W niniejszej rozprawie doktorskiej przeprowadzono systematyczne badania wpływu dodatku Ca, obróbki cieplnej, procesów przeróbki plastycznej opartych na wyciskaniu oraz intensywnego odkształcenia plastycznego (SPD) na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne i przewodność elektryczną stopu Cu-0,7% mas. Mg, a także opracowanie kompozytowej struktury Cu/Mg o obniżonej gęstości metodą wyciskania KoBo. Dodatek 0,1% mas. Ca do stopu Cu-0,7Mg (% mas.) sprzyjał powstawaniu cząstek międzymetalicznych Cu₅Ca, równomiernie rozmieszczonych zarówno wewnątrz ziaren, jak i na granicach ziaren, a także powodował transformację kolumnowej mikrostruktury odlewniczej stopu binarnego w strukturę równoosiową w stopie trójskładnikowym. W konsekwencji stop trójskładnikowy wykazał wzrost twardości o 33%, wzrost granicy plastyczności (YS) o 13% oraz wzrost wytrzymałości na rozciąganie (UTS) o 13% w porównaniu ze stopem binarnym, przy jednoczesnym obniżeniu całkowitego wydłużenia (EL) o 15% oraz przewodności elektrycznej o 13%. Następnie zastosowana obróbka cieplna, obejmująca wyżarzanie w temperaturze 650 °C przez 90 min z następującym po nim chłodzeniem w wodzie, wywołała częściową sferoidyzację cząstek Cu₅Ca w stopie trójskładnikowym oraz poprawę wartości YS, UTS i EL dla obu stopów. Obróbka SPD z wykorzystaniem modułu MaxStrain symulatora termomechanicznego Gleeble doprowadziła do wyraźnego rozdrobnienia ziaren oraz zwiększenia udziału granic ziaren wielokątowych (HAGBs), szczególnie w stopie trójskładnikowym, gdzie cząstki międzymetaliczne skutecznie hamowały ruch dyslokacji podczas odkształcenia. Zastosowane sekwencje przetwarzania obejmujące wyciskanie współbieżne w temperaturze 400 °C lub wyciskanie KoBo w temperaturze pokojowej przed odkształceniem MaxStrain doprowadziły do uzyskania znacznie drobniejszej struktury, zmniejszając średnią wielkość ziaren odpowiednio o 76% i 66% w porównaniu z samą obróbką MaxStrain. W przypadku stopu binarnego odkształcenie MaxStrain, zarówno z wcześniejszym wyciskaniem, jak i bez niego, zwiększało YS o 251–360% oraz UTS o 95–169% w porównaniu ze stanem wyżarzonym, na skutek połączonego efektu rozdrobnienia ziaren i umocnienia odkształceniowego. Pomimo niewielkiego obniżenia przewodności elektrycznej spowodowanego obróbką SPD, wszystkie przetworzone stopy zachowały korzystną równowagę pomiędzy wytrzymałością a przewodnością oraz mieściły się w zakresie charakterystycznym dla stopów Cu o wysokiej wytrzymałości i wysokiej przewodności (HSHC). Ponadto, metodą wyciskania KoBo z powodzeniem wytworzono kompozytową strukturę Cu/Mg o obniżonej gęstości (7,85 g/cm³), składającą się z osnowy czystej Cu wzmocnionej ciągłymi włóknami czystego Mg. Analiza mikrostruktury potwierdziła trwałe mechaniczne połączenie międzyfazowe bez widocznej interdyfuzji, ciągle na całej długości i wolne od defektów rozmieszczenie filamentów Mg, dynamiczne odzyskiwanie i rekrytalizację osnowy Cu oraz powstanie ultradrobnoziarnistej (UFG) mikrostruktury Mg o średniej wielkości ziarna wynoszącej około 354 nm. Cechy mikrostrukturalne przyczyniły się do wzrostu twardości o około 43% w osnowie Cu oraz o 11% w filamentach Mg. Charakterystyka właściwości mechanicznych wykazała wczesną wartość YS na poziomie 119 ± 12 MPa dla struktury kompozytowej, odpowiadającą początkowi odkształcenia plastycznego stosunkowo bardziej miękkich filamentów Mg w osnowie Cu. Pomimo obecności defektów indukowanych odkształceniem, które nieznacznie zwiększały rozpraszanie elektronów, kompozyt zachował wysoką przewodność elektryczną na poziomie $52,6 \pm 1,2$ MS/m, dzięki zachowaniu ciągłej struktury Cu jako osnowy. Podsumowując, uzyskane wyniki wskazują, że kontrolowane zastosowanie dodatków stopowych, obróbki cieplnej, procesów przeróbki plastycznej opartych na wyciskaniu oraz SPD stanowi skuteczną strategię opracowywania zaawansowanych stopów Cu-Mg typu HSHC oraz kompozytowych struktur Cu/Mg o obniżonej gęstości, charakteryzujących się pożądanym połączeniem właściwości mechanicznych i przewodności elektrycznej.

Słowa Kluczowe: Stopy miedzi o wysokiej wytrzymałości i wysokiej przewodności; Umocnienie roztworowe; Umocnienie przez fazę drugą; Obróbka cieplna; Inżynieria mikrostruktury; Proces MaxStrain; Symulator termomechaniczny Gleeble; Wyciskanie KoBo; Symulacja; Właściwości mechaniczne; Przewodność elektryczna; Materiały kompozytowe.
