

ДИСПЕРСИОННО-УПРОЧНЯЕМЫЕ СПЛАВЫ СИСТЕМЫ Al-4%Cu С МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ Sc, Zr, Hf

Подкин Е.С.¹, Котенков П.В.¹, Попова Э.А.¹, Шубин А.Б.¹

¹ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: cherdancev_egor@mail.ru

DISPERSION-HARDENED ALLOYS OF THE Al-4%Cu SYSTEM WITH SMALL ADDITIVES Sc, Zr, Hf

Podkin E.S.¹, Kotenkov P.V.¹, Popovs E.A.¹, Shubin A.B.¹

¹ Institute of metallurgy UrO RAN, Ekaterinburg, Russia

Aluminum-based alloys alloyed with copper and other elements are characterized by high strength and physico-chemical properties. In this study, work was carried out to study the effect of small additives of transition metals on alloys of the Al-4%Cu system.

Алюминиевые сплавы, легированные медью и другими элементами, обладают высокими показателями прочности и физико-химическими свойствами. Выделяющиеся при закалке и старении вторичные алюминиды переходных металлов способствуют повышению служебных свойств.

При разработке дисперсионно упрочняемых алюминиевых сплавов особое внимание уделяется выбору переходных металлов (ПМ). Наиболее перспективными для этого являются добавки Sc, Zr, Hf, Ti [1, 2].

Синтез сплавов систем Al-Cu, Al-Cu-Zr, Al-Cu-Sc, Al-Cu-Sc-Zr, Al-Cu-Sc-Hf проводили с использованием предварительно подготовленных опытных двойных лигатур и меди марки М00, в расчете на 4 масс.%Cu. Выплавка проводилась в корундовых тиглях в шахтной печи сопротивления в атмосфере аргона при 720°C. Контроль температуры осуществлялся вольфрам-рениевой термопарой в комплексе с цифровым мультиметром APPA 207. Расплавы разливали в бронзовую изложницу.

Для определения химического состава синтезированных сплавов из нижней части слитков были взяты пробы в виде стружки. Анализ проводился при помощи атомно-эмиссионного спектрометра ОПТИМА 2100 DV. Для анализа структуры был использован инвертированный микроскоп GX-57 (OLYMPUS) с увеличением в диапазоне от 50 до 1500 и а также сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 40. Для установки точного химического состава полученных образцов и дендритных ячеек α -Al и алюминидов ПМ была использована приставка (MPCA) INCA X-Act фирмы «Oxford Instruments». Рентгенофазовый анализ произведен дифрактометром Shimadzu XRD-7000.

Механические свойства оценивались с помощью установки Zwick/Roell Z050, оснащенной стандартным тензорезисторным S-образным датчиком (50 кН), в комплексе с программным обеспечением TestXpert II. Измерение твердости по Бринелю проводилось методом восстановленного отпечатка на в соответствии с

ГОСТ 9012-59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю». Измерение размера отпечатков выполняли при помощи инвертированного оптического микроскопа GX-57 (OLYMPUS) с использованием программного комплекса SIAMS 700.

В результате комплекса работ стало известно, что использование комплексных добавок Sc+Zr или Sc+Hf, в сравнение со сплавами, легированными только Sc, приводит к замедлению скорости огрубления триалюминидов $Al_3(Sc_{1-x}Zr_x)$ и $Al_3(Sc_{1-x}Hf_x)$.

Добавки циркония или гафния без дополнительного введения скандия в малой степени влияют на начальную стадию преципитации. При медленном нагреве влияние комплексных добавок на дисперсионное упрочнение (в четырехкомпонентных сплавах) выражено наиболее ярко. Это обусловлено низкой скоростью диффузии циркония и гафния в алюминии.

При термической обработке при 150 °С до 4 часов изменение режима скорости нагрева не оказывает существенного воздействия на упрочнение сплавов изученных систем.

1. Miao Yu, Bing Zhu, Ning Li, Haiyang Zheng, Yang Lu, Xiaopeng Yu, Research on microstructure and mechanical properties at elevated temperature of Al-Mg-Si-Sc-Zr alloy strengthened by $Al_3(Sc, Zr)$ nanoprecipitates. *Journal of Alloys and Compounds*, V. 985, (2024)
2. N.R. Bochvar, O.V. Rybalchenko, N.P. Leonova, N.Yu. Tabachkova, G.V. Rybalchenko, L.L. Rokhlin, Effect of cold plastic deformation and subsequent aging on the strength properties of Al-Mg₂Si alloys with combined (Sc + Zr) and (Sc + Hf) additions, *Journal of Alloys and Compounds*, V. 812, (2020)