**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В₄С НА СТРУКТУРУ
И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ
МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ СПЛАВА AL-5%CU**

АННОТАЦИЯ

В работе методом механического замешивания получены МКМ на основе сплава Al-5%Cu, армированные частицами В₄С среднего размера 5 мкм. Разработана технология введения частиц В₄С в расплав. Получено однородное распределение армирующих частиц В₄С в матрице МКМ. С увеличением содержания В₄С в матричном сплаве происходит незначительное повышение пористости с 1 до 3,1 %. Средний линейный коэффициент термического расширения в интервале температур от 20 до 100 °С снижается с 24,5 до 22,6 10⁻⁶ °С⁻¹.

Ключевые слова: металломатричные композиционные материалы, карбид бора, микроструктура, коэффициент термического расширения

ABSTRACT

In this paper the composite of alloy Al-5%Cu alloy reinforced with different percent of В₄С (average size of 5 microns) have been prepared using stir casting technique. This technique found to be effective for giving uniform distribution of В₄С particles through the matrix. Increasing the content of В₄С particles in the matrix alloy leads to a minor porosity increase from 1 % to 3.1 %. The average linear thermal expansion coefficient in the temperature range from 20 to 100 °С decreases from 24.5 to 22.6 10⁻⁶ °С⁻¹.

Keywords: metal-matrix composite materials, boron carbide, microstructure, coefficient of thermal expansion

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, поршневые силумины (сплавы на основе системы Al-Si) обладают уникальным комплексом свойств, таких как низкий коэффициент термического расширения (КТР), высокая износостойкость, технологичность при литье, однако уровень их механических свойств, как при комнатной, так и при повышенных температурах уступает большинству литейных алюминиевых сплавов [1–5]. Проблему повышения механических характеристик при повышенных температурах без потери комплекса остальных свойств могут решить металломатричные композиционные

материалы (МКМ). Исследования и разработки МКМ на основе алюминиевых сплавов, армированных частицами SiC , Al_2O_3 и некоторыми другими, показывают возможность разработки сплавов с более высоким комплексом свойств.

В настоящей работе методом механического замешивания получены МКМ на основе сплава $\text{Al-5\%Cu}$ и исследовано влияние содержания частиц B_4C на микроструктуру, фазовый состав, плотность и КТР полученных МКМ. В качестве матричного сплава был выбран модельный сплав $\text{Al-5\%Cu}$, который может послужить базовым для разработки основы МКМ с высокими механическими свойствами как при комнатной, так и при повышенных температурах.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В электрической печи сопротивления с использованием алюминия марки А85, меди марки М0 и частиц B_4C , средним размером 5 мкм, были получены МКМ методом механического замешивания.

Для замешивания частиц в расплав была изготовлена титановая двухлопастная лопатка, которая способствует более однородному распределению частиц в расплаве. Предварительно подогретые до $250\text{ }^\circ\text{C}$ частицы B_4C вводили в расплав в концентрациях 2, 5 и 7 % при температуре $900\text{ }^\circ\text{C}$.

Металлографические исследования и идентификацию фаз проводили на растровом электронном микроскопе (РЭМ) TESCAN VEGA 3LMH с использованием энерго-дисперсионного детектора X-Max 80 и рентгеновского дифрактометра Bruker D8 Advance.

Определение пористости осуществляли по отклонению теоретической плотности от экспериментальной методом гидростатического взвешивания. Средний линейный КТР определяли с использованием дилатометра Linseis L75 в температурном интервале $20\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$, ошибка в определении не превышала $0,1\cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 1 представлены микроструктуры МКМ на основе сплава $\text{Al-5\%Cu}$ с разным содержанием армирующих частиц B_4C . В структуре помимо алюминиевого твердого раствора присутствуют светлые включения фазы Al_2Cu кристаллизационного происхождения и черные однородно распределенные включения частиц B_4C . Рис. 1, 2 качественно иллюстрирует ровную границу межфазного взаимодействия матрица/частица.

Метод механического замешивания частиц в расплав имеет один недостаток – газонасыщение. Введение в матричный сплав 2 % B_4C приводит к незначительному увеличению пористости, в то время как большие количества частиц порошка (до 7 %) повышают пористость с 1 до 3,1 %. Однако в целом можно сказать, что пористость в исследуемых МКМ невысока.

На рис. 2 представлен средний КТР в интервале температур от 20 до 100 °С и от 20 до 200 °С для матричного сплава и МКМ с содержанием В₄С 2, 5, и 7 %. Из рисунка 2 видно, что введение 2 % В₄С приводит к видимому снижению КТР в интервале температур от 20 до 100 °С с 24,5 до 22,6 10⁻⁶ °С⁻¹.

Рис. 1. Микроструктуры МКМ: а) Al-5%Cu-2%B₄C; б) Al-5%Cu-5%B₄C; в, з) Al-5%Cu-7%B₄C

КТР в интервале температур от 20 до 200 °С также снижается. Снижение темПа уменьшения КТР при повышении содержания В₄С в МКМ можно объяснить ростом пористости в образцах (рис. 2): при введении в матричный сплав 2 % В₄С происходит снижение КТР в интервале температур от 20 до 100 °С на 1,9 10⁻⁶ °С⁻¹, дальнейшее повышение содержания В₄С до 7% снижает КТР еще на 0,4 10⁻⁶ °С⁻¹ при этом пористость растет от 1 до 3,1%. Оптимизацией состава матричного сплава, технологии литья (например, использование кристаллизации под давлением) возможно

добиться получения КТР как в поршневых силуминах на уровне $19-21 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ в интервале температур от 20 до $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рис. 2. Средний КТР в интервале температур для исследуемых сплавов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием разработанной технологии механического замешивания частиц B_4C в расплав получены МКМ на основе сплава Al-5%Cu. Получены МКМ с однородным распределением армирующих частиц B_4C в матрице. Показано, что с увеличением содержания B_4C в матричном сплаве происходит незначительное повышение пористости с 1 до 3,1 %. Средний линейный КТР в интервале температур от 20 до $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ снижается с $24,5$ до $22,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные ТУ. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
2. Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Aluminum Alloys in the Form of Casting and Ingot // The Aluminum Association, Inc. Revised: January 1989.
3. Kaufman J. G. Properties of Aluminum Alloys. Tensile, Creep, and Fatigue Data at High and Low Temperatures // The Aluminum Association, Inc. and ASM International. 2006. P. 311.
4. ASM HANDBOOK. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. V. 2. The Materials Information Company, 2010.
5. Золоторевский В. С., Белов Н. А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. М. : МИСиС, 2005. 376 с.