

СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ НАНОРАЗМЕРНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ СИЛУМИНОВ

Комаров А.И., Комарова В.И., Шипко А.А.

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси. г. Минск, Беларусь
komarova@inmash.bas-net.by.*

Введение

Одной из важнейших задач современного материаловедения является разработка композиционных материалов триботехнического назначения с высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью. Предпосылкой решения этой задачи является формирование дисперсной структуры с равномерным распределением фаз. Особенно это актуально для сплавов с резко гетерогенной структурой, яркими представителями которых являются силумины, полученные литьем из вторичных материалов. Одним из перспективных направлений достижения дисперсной структуры литых изделий является модифицирование сплавов реакционно активными к алюминиевой матрице порошковыми тугоплавкими керамическими соединениями, инициирующими кристаллизацию расплавов [1, 2]. Значительный интерес в этом направлении представляет применение в качестве армирующих добавок соединений с размером частиц, отвечающим наноуровню. В [3, 4] разработаны подход и процесс самопроизвольного синтеза непосредственно в исходной шихте наноструктурированных композиционных тугоплавких керамических наполнителей (НКТКН). Нанонаполнители образуются на поверхности микро- и ультрадисперсных порошков шихты вследствие окислительно-восстановительных реакций между ее компонентами. Разработанные модификаторы являются полифункциональными, поскольку выполняют, с одной стороны, функцию доноров для протекания на их поверхности реакций, приводящих к образованию активных к алюминиевой матрице наноразмерных соединений и элементов, с другой – носителей этих нанокomпонентов в расплавы, обеспечивая при этом равномерное распределение наночастиц в алюминиевой матрице.

Цель данной работы – исследование влияния концентрации НКТКН на основе УДП диоксида кремния и типа керамических наночастиц на структурообразование и триботехнические свойства создаваемых алюмоматричных композитов

Методика исследования

Основой разрабатываемых композитов служили эвтектический силумин АК12М2МgН и доэвтектический АК5М7. Для армирования этих сплавов применяли НКТКН, полученные на основе ультрадисперсного порошка SiO_2 с размером частиц $\leq 0,5$ мкм и микродисперсного порошка гексагонального нитрида бора BN с размером частиц 5–20 мкм. Для достижения более высокой дисперсности порошков их подвергали механической активации. НКТКН получали модифицированием поверхности SiO_2 титаном, бором ($\text{SiO}_{2(\text{B,Ti})}$), алюминием ($\text{SiO}_{2(\text{Al})}$), алюминием и титаном ($\text{SiO}_{2(\text{Al,Ti})}$), а нитрида бора – алюминием и титаном $\text{BN}_{\text{Al,Ti}}$. Процесс модифицирования порошков проводили CVD-методом под плавким затвором. При изготовлении композитов концентрацию вводимых в расплавы нанонаполнителей изменяли от 0,5 до 5,0 мас.%. Фазовый состав НКТКН и структуру КМ изучали методами рентгеноструктурного, металлографического анализов и сканирующей электронной микроскопии.

Триботехнические испытания выполняли в режиме граничного трения в среде масла И-40А по схеме возвратно-поступательного скольжения контртела относительно неподвижного образца на трибометре МТВП-2, обеспечивающим определение коэффициента трения. Скорость скольжения составляла 0,1 м/с, номинальное давление p в процессе испытаний пошагово возрастало в диапазоне 20 МПа→30→45→60 МПа. Путь трения L на каждой из ступеней составлял 1200–2760 м. В процессе фрикционных испытаний реги-

стрировали коэффициент трения f , массовый износ Δm , определяемый по потере массы взвешиванием образцов на аналитических весах ВЛР-200, и интенсивность изнашивания I ($I = \Delta m / L$).

Результаты исследования и их обсуждение

Фазовый состав НКТКН. Полученные результаты показали, что разработанный способ самопроизвольного синтеза нанонаполнителей [3] позволяет управлять составом и соотношением компонентов НКТКН путем изменения типа и соотношения элементов, добавляемых в основу шихты. Как показал рентгенофазовый анализ, CVD-обработка шихты на основе SiO_2 с добавками бора и титана приводит к образованию в ней боридов титана TiB , TiB_2 , непрореагировавших B и Ti и рутила TiO_2 . Появление последнего следует связывать с наличием кислорода в шихте. При добавке в УДП-порошок SiO_2 алюминия образуется оксид алюминия в модификации корунд, а также Si в высокодисперсном состоянии, что повышает его реакционную активность в расплаве. Дополнительная добавка титана приводит к образованию наночастиц Ti , TiO_2 , AlTi_2 .

Широкий спектр наносоединений отмечается в модификаторе на основе гексагонального BN после его модифицирования алюминием и титаном. В этом случае образуются дисперсные частицы нитридов алюминия $\alpha\text{-AlN}$, борида AlB_2 , оксидов α -, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, B , Ti , TiB , TiB_2 .

Структура и свойства композитов на основе сплава AK12M2MgH . В исходном состоянии сплав состоит из α -фазы, эвтектики и ряда фаз (рис. 1, а), к числу основных из которых относятся AlMnSiFe , $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$, CuAl_2 , Mg_2Si . Видно, что структура грубодисперсна с крупными (50–500 мкм) дендритами, микротвердость которых составляет 770 МПа, а эвтектики – 1110 МПа.

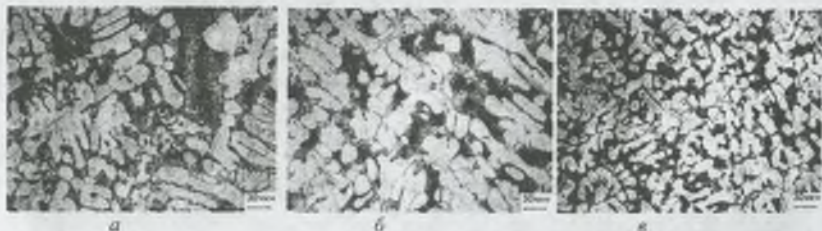


Рис. 1. Микроструктура сплава AK12M2MgH (а) и композитов KM-1 (б), KM-2 (в)

Структура отливки композита KM-1 (рис. 1, б), полученная путем армирования модификатором $\text{SiO}_{2(\text{B,Ti})}$, введенным в расплав в количестве 1%, и фтористого активатора характеризуется диспергированием всех структурных составляющих, отсутствием крупных железосодержащих фаз. Их измельченные фрагменты разориентированы и выделяются в эвтектике (рис. 1, б; рис. 2, а).

Характерной особенностью структурообразования этого композита является разбегание зерен дендритов тонкими игольчатыми частицами фазы AlMnFeSi , сформированных из крупных скелетообразных фаз под воздействием НКТКН. В структуре образца этого композита отмечается значительное диспергирование на мелкие, размером до 10 мкм, фрагменты неправильной формы медьсодержащих фаз Al_2Cu , $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$, которые образуют своеобразный армирующий каркас (рис. 2, а). Формирование подобной структуры характерно и для композита KM-2 , концентрация $\text{SiO}_{2(\text{B,Ti})}$ в котором составляет 3% (рис. 2, б, в). При увеличении концентрации в сплаве до 5% (KM-3) формируется структура, характерная для заэвтектических силуминов [4]. Существенное модифицирующее воздействие на структуру сплава AK12M2MgH оказывает его армирование нанонаполнителем $\text{SiO}_{2(\text{Al})}$ (рис. 1, в).

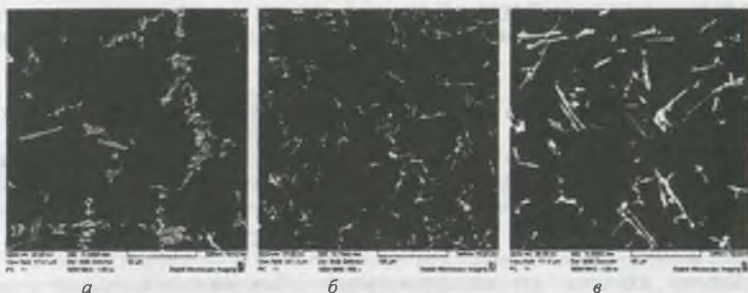


Рис. 2. СЭМ-изображение структуры отливок композитов АК12-13 (а), АК12-18 (б, в)

Подобный модифицирующий эффект структуры достигнут при армировании доэвтектического силумина АК5М7 наполнителями $\text{SiO}_2(\text{Al})$ (КМ-4), $\text{BN}_{\text{Al,Ti}}$ (КМ-5).

Диспергирование структуры силуминов, а также образование своеобразного каркаса из медьсодержащих фаз способствует повышенным триботехническим свойствам разработанных композитов (табл.).

Таблица. Результаты испытания триботехнических свойств сплава АК12М2МгН и композитов на его основе при различных удельных нагрузках p

p , МПа	Коэффициент трения f				Интенсивность изнашивания I , 10^{-5} мг/м			
	исх. сплав	КМ-1	КМ-2	КМ-3	исх. сплав	КМ-1	КМ-2	КМ-3
20	0,024	0,009-0,01	0,007-0,009	0,008-0,01	29,2	1,81	1,2	10,3
30	0,14- 0,16	0,007- 0,011	0,003-0,005	0,013-0,015	126,8	0	1,5	5,5
45		0,022-0,025	0,008-0,01	0,017-0,022		0	3,3	0
60	-	0,022-0,033	0,013-0,017	0,016-0,020	-	5,7	0	3,4

Полученные данные показали, что при армировании сплава АК12М2МгН наноструктурированными наполнителями достигается снижение коэффициента трения в 3,5 раза при $p = 20$ МПа и в 10–46 раз при 30 МПа. Одновременно с этим износостойкость повышается в ~ 23–85 раз.

Список литературы

1. Михеев Р.С., Калашников И.Е., Кобелева Л.И., Чернышева Т.А. Разработка композиционных материалов системы Al-Ti-TiC // ФХОМ. – 2009. – №3, с. 85–90.
2. Седельников В.В. Структурообразование кристаллизующихся систем при модифицировании их ультрадисперсными порошками // Литейное производство. – 2005, № 1, с. 2-5.
3. Витязь П.А., Комаров А.И., Комарова В.И., Шипко А.А., Сенють В.Т. Создание наноструктурированных композиционных модификаторов для сплавов алюминия // Докл. НАН Беларуси. – 2011, т. 55, № 5, с. 91–96.
4. Волочко А.Т., Комаров А.И., Комарова В.И., Изобелло А.Ю. Модифицирующее воздействие субмикронного диоксида кремния, структурированного наночастицами бора и титана, на процесс формирования микроструктуры и свойств поршневого сплава // Весці НАН Беларусі, серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2010, №2, с. 11–19.