

© П.В. Котенков, Э.П. Попова, А.Б. Шубин, Э.А. Пастухов, 2012 г.
Институт металлургии УрО РАН,
г. Екатеринбург

© В.В. Астафьев, Т.И. Яблонских, И.Г. Бродова, 2012 г.
Институт физики металлов УрО РАН,
г. Екатеринбург
P.Kotenkoff@yandex.ru

СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИТОВ Al-TiC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСПЛАВ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ*

Легирование и модифицирование легких сплавов тугоплавкими добавками является надежным источником улучшения их структуры и повышения механических, физико-химических и эксплуатационных свойств. В настоящее время в заводской практике для этих целей используют специальные Al лигатуры, содержащие до 5 масс.% тугоплавкого компонента (Ti, Zr, Cr, V, Mn, Mo и др.), которые представляют собой двух- или трехфазные композиции, имеющие алюминиды тугоплавких металлов. Известно, что наиболее активным модификатором алюминиевых сплавов является титан. Введение Al-Ti лигатур в Al расплавы требуют тщательного подбора теплофизических параметров процесса плавки, в противном случае в структуре слитков и отливок формируются избыточные интерметаллиды и «веерные» кристаллы, которые сильно снижают качество литого материала, его технологическую пластичность и прочность.

Одним из решений такой важной проблемы в практике металлургического производства является замена традиционных лигатур на новые сплавы с высокой модифицирующей и легирующей способностями, которые достигаются за счет получения в алюминиевой матрице равномерно распределенных наноразмерных частиц зародышеобразующей фазы, без образования микронных скоплений этих частиц. Для этого в ИФМ УрО РАН методом механоактивации [1] получены нанопорошки со средним размером TiC 100 нм, которые были спрессованы с Al порошком в брикеты для повышения эффективности растворения брикетов в расплаве алюминия. Фазовый состав брикетов, определенный методом дифракционного рентгено-структурного анализа, показан на рис. 1. Видно, что никаких посторонних фаз в процессе механоактивации не образуется.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы междисциплинарных фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 12-М-23-2031).

Полученные брикеты вводили в расплав алюминия (марки ЧДА), находящийся в графитовом тигле под покровным флюсом (40 мас.% NaCl, 10 % NaF, 35 % KCl, 15 % криолита; около 1 % флюса от массы расплава). Для ускорения процесса растворения брикетов и равномерного распределения карбидов титана в расплаве, на последний воздействовали низкочастотными колебаниями (НЧК) в режиме интенсивного перемешивания [2]. Колебания передавались в расплав через графитовый поршень-излучатель, который, кроме основной функции, удерживал брикеты от всплывания и контакта с воздушной средой. Воздействие НЧК на расплав (массой 200 г) проводили при температуре 870–920 °С в течение 1–3 мин. Расплав выдерживали в течение 5–8 минут и разливали в стальную изложницу.

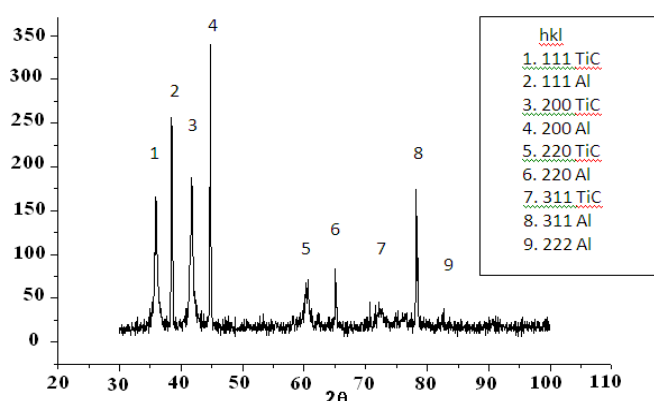


Рис. 1. Дифрактограмма спрессованного композита Al-TiC

Полученный лигатурный сплав по данным химического анализа содержит 0,15 % Ti и 0,032 %C. Практически весь титан связан в карбиды, образуется 0,16 масс.% TiC. Металлографический анализ, выполненный с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 40 при увеличениях от 100 до 5000, показал, что наноразмерные и субмикронные карбиды титана равномерно распределены в алюминиевой матрице (рис. 2, а, рис. 2, б, светлые включения).

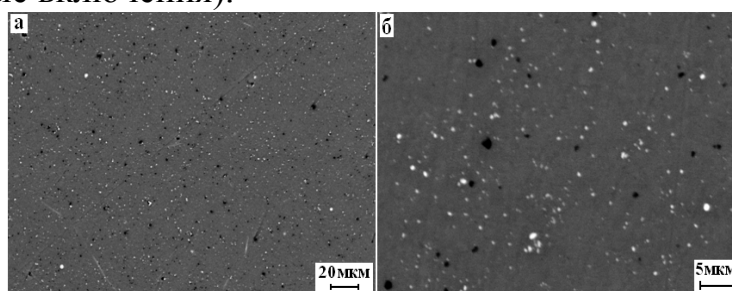


Рис. 2. Распределение карбидов титана в алюминиевой матрице

На поле шлифа можно также видеть черные включения частичек покровного флюса. Сканирование по площади в лучах K_{α} Na показало его равномерное распределение по шлифу (рис. 3, а). На приборе Micromer 5103 фирмы Buehler с обработкой изображений по программе Trixomet Pro была измерена микротвердость лигатурного сплава, значения которой

изменялись от 33,1 до 34,6 HV и составили в среднем 33,8 HV. Таким образом, можно сделать вывод, что за счет только 0,16 масс.% наноразмерных и субмикронных частиц TiC чистый алюминий упрочнился более чем в два раза. На рис. 3, б можно видеть вдавленные пирамидкой в матрицу карбиды титана (отпечаток получен при нагрузке 10 г и увеличении x 1000).

С целью изучения влияния малых добавок лигатуры Al-TiC на дисперсионное упрочнение алюминиевых сплавов в процессе их старения, лигатуру вводили в расплав Al-4 %Cu в расчете на 0,01, 0,02 и 0,03 масс.% TiC. Старение проводили при 100 и 150°C в течение 31 и 26 ч после закалки (5 ч при 530 °C).

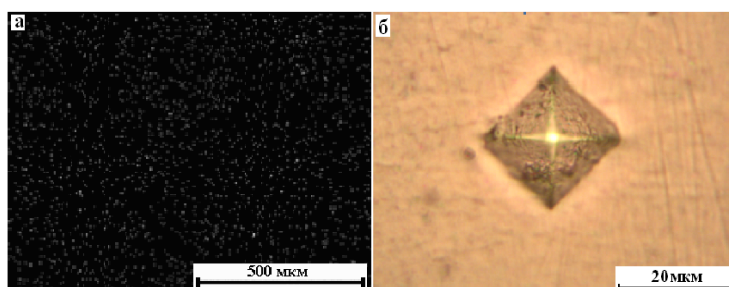


Рис. 3. Сплав Al-0,16 %TiC: а – сканирование в лучах K_{α} Na; б – частицы TiC, вдавленные пирамидкой в матрицу при измерении твердости

Сравнительные результаты старения при 150 °C сплава Al-4 %Cu с добавками лигатур опытной Al-TiC и промышленной Al-Ti приведены в таблице.

Таблица 1

Изменение твердости образцов в процессе старения при 150 °C

Состав, масс.%	Твердость, МПа								
	литой сплав	после отжига	старение, час						
			2	5	8	11	16	20	26
Al-4Cu	455	595	595	763	872	872	849	977	910
Al-4Cu-0,1Ti	496	655	624	849	885	977	1007	963	1007
Al-4Cu-0,2Ti	519	724	671	950	923	950	1037	1053	1085
Al-4Cu-0,01TiC	437	519	724	897	885	1053	992	950	1037
Al-4Cu-0,02TiC	568	568	783	897	977	1069	1037	1007	1022
Al-4Cu-0,03TiC	531	672	897	963	1007	1136	1069	1053	1085

Видно, что малые добавки опытной лигатуры позволяют значительно повысить твердость сплава уже через 5 ч старения. Следовательно, эффект дисперсионного упрочнения титаном, введенным с помощью лигатуры Al-TiC, наблюдается при значительно меньшем количестве титана, чем при использовании лигатуры Al-3 %Ti производства ВСМПО.

Список использованных источников

1. *Бродова И.Г., Замятин В.М., Ермаков А.Е., Уймин М.А., Ермаков А.В.* Разработка новых лигатурных алюминиевых сплавов с наноразмерными тугоплавкими модификаторами // Труды научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». Т. 1. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 231–237.
2. *Пастухов Э.А., Попова Э.А., Бодрова Л.Е., Ватолин Н.А.* Особенности кавитационных процессов при воздействии на жидкие среды упругими колебаниями низких частот в кавитационном режиме // Расплавы. 1998. № 3. С. 7–13.