

Д. Х. Н. Р. А. Апакашев, Д. Т. Н. С. Я. Давыдов(✉)

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.2.017:620.193.93

ОБРАЗОВАНИЕ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ Al-SiO_2

Представлены результаты исследований химического состава и структуры алюминия после взаимодействия с огнеупорным материалом из диоксида кремния. Установлено, что высокотемпературное взаимодействие компонентов системы Al-SiO_2 сопровождается разрушением рабочей поверхности огнеупора и образованием алюмоматричного композиционного материала, содержащего микрочастицы кремния.

Ключевые слова: алюминий, диоксид кремния, высокотемпературное взаимодействие, микрочастицы кремния, композиционный материал.

Алюминий, находясь в расплавленном состоянии, контактирует с огнеупорными материалами футеровки нагревательной печи и элементов литейной оснастки. Контактное взаимодействие способствует накоплению в первичном металле примесей, влияющих на его физико-механические свойства. Так, термодинамический анализ реакции в системе Al-SiO_2 свидетельствует о возможности восстановления кремния из его оксида расплавленным алюминием [1, 2]. Подобный процесс является нежелательным в случае применения силикатных огнеупорных материалов. Более того, результаты термодинамических расчетов реакций алюминия с примесями, содержащимися в кварцевом песке, показывают, что теоретически возможно восстановление расплавленным алюминием железа, марганца, титана из их оксидов [2]. При таком взаимодействии может происходить не только насыщение расплава восстановленным кремнием, но и постепенное разрушение огнеупора [3, 4].

С другой стороны, введение в объемную структуру металла (матрицу) гетерогенных частиц позволяет получать композиционные материалы, обладающие улучшенными физико-механическими свойствами. В этом направлении проводятся актуальные в прикладном отношении экспериментальные исследования, включающие получение литейных композиционных сплавов на основе алюминия с исполь-

зованием метода реакционного литья (in situ процесс) [5]. Применение этого метода является перспективным технологическим решением процесса получения литых композиционных материалов, обеспечивающим формирование фаз гетерогенной системы в процессе химического взаимодействия исходных компонентов.

В настоящей работе исследовали влияние технологического контакта расплавленного алюминия с диоксидом кремния на химический состав и структуру кристаллизующегося металла. В качестве объекта исследования использовали первичный алюминий марки А0 и огнеупорные трубки из плавного кварца оптического качества. Внутренний диаметр трубок составлял 5 мм. Для объективности и достоверности результатов исследований аналогично использовали огнеупорные трубки из корундовой керамики. Алюминий плавил в электрической печи сопротивления в корундовом тигле. Для отбора расплава использовали технологическое отверстие печи, обеспечивающее инструментальный доступ к расплаву. Через отверстие в рабочую зону печи перед началом нагрева заранее вводили огнеупорную трубку. Длину трубки выбирали такой, чтобы ее находящаяся вне печи часть достаточно охлаждалась окружающим воздухом. При 985 К трубку помещали в расплав алюминия, ее внешнюю часть соединяли с вакуумным насосом и, создав необходимое разрежение, наполняли трубку расплавом на 5 см по высоте. Трубку с расплавом выдерживали в печи фиксированное время и извлекали на воздух. Общая длительность контакта металлического расплава с материалом трубки при 985 К со-



С. Я. Давыдов

E-mail: davidovtrans@mail.ru

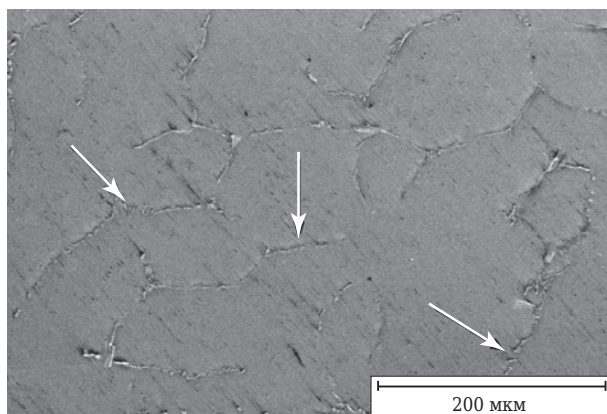


Рис. 1. Микроструктура алюминия, контактировавшего в расплавленном состоянии с корундом; стрелками показаны границы полиэдрических зерен металла

ставляла 60 с. После охлаждения до комнатной температуры трубку разрушали. Из средней части извлеченного слитка вырезали образец высотой 1,5 см, химический состав и структуру которого регистрировали с помощью растрового электронного микроскопа «Quanta 200», оборудованного приставкой рентгеновского микроанализа EDAX.

В результате проведенных исследований установлено, что высокотемпературный контакт алюминия с корундом за время пребывания расплава в трубке (а перед этим в тигле) не меняет химический состав кристаллизующегося металла. Массовая доля кремния в алюминии как перед плавлением, так и после эксперимента сохраняется на уровне 0,71 %, что соответствует ГОСТ 11069 (Европейский стандарт EN 573-3-94) для выбранной марки металла. На рис. 1 показана микроструктура алюминия, контактировавшего в расплавленном состоянии с корундом. Видно, что после кристаллизации металл имеет структуру равноосных полиэдрических зерен. Средний линейный размер зерен около 150 мкм. Исходный алюминий марки А0 содержит ряд примесей, поэтому границы зерен металла загрязнены включениями избыточных фаз типов Al_3Fe , Al_2Cu . Оксидные фазы не наблюдаются, так как алюминий не растворяет кислород; их взаимодействие преимущественно заключается в образовании на поверхности металлического расплава пленки нерастворимого оксида.

Радикальные изменения химического состава и структуры алюминия проявляются после контакта расплавленного металла с диоксидом кремния. В результате взаимодействия с плавным кварцем первичный алюминий превращается в композиционный материал, армированный микрочастицами кремния (рис. 2). Преобладающий линейный размер гетероген-

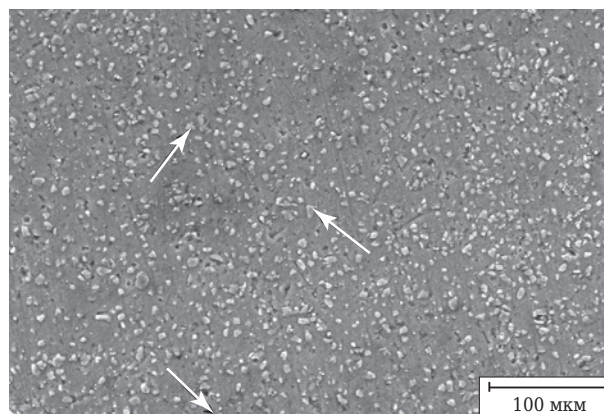


Рис. 2. Алюминий с включениями частиц кремния, образовавшимися в результате контакта расплавленного металла с огнеупором из диоксида кремния; стрелками показаны частицы кремния, армирующие структуру металла

ных частиц в матрице алюминия при этом составляет 3–5 мкм и менее. Наибольшее количество кремния наблюдается в центральной части цилиндрического слитка. По результатам рентгеновского анализа гетерогенные частицы содержат 99 % кремния, а их массовая доля в отдельных участках алюмоматричного материала достигает 29 %.

При заливке, кристаллизации и охлаждении материал огнеупорной формы не должен реагировать с заливаемым металлом. В исследуемом случае имеет место противоположная ситуация — происходящее взаимодействие алюминия с плавным кварцем разрушает контактирующую с металлическим расплавом поверхность огнеупора. Как следует из рис. 3, в результате протекания этого процесса получающиеся отливки имеют поверхности с выраженными неровностями преимущественно куполообразной формы. Расстояние между основаниями куполообразных неровностей рельефа поверхности металла около 30 мкм, а их наибольшая высота, характеризующая шероховатость поверхности, составляет 40–50 мкм.

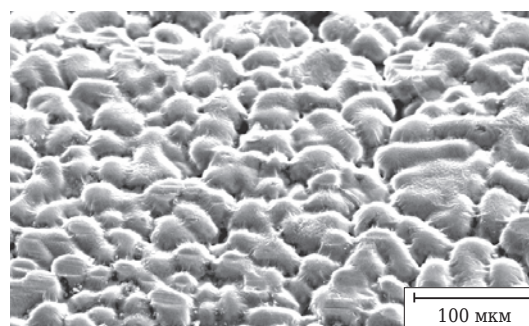


Рис. 3. Микрорельеф контактной поверхности алюминия, закристаллизованного в трубке из диоксида кремния

На основании проведенных исследований химического состава и структуры алюминия установлено, что при технологическом контакте алюминия с плавленным кварцем происходит интенсивное восстановление кремния из его оксида. В результате этого имеют место химическая эрозия огнеупора и образование алюмоматричного композиционного материала, содержащего большое число микрочастиц кремния. По данным рентгеновского анализа и электронной микроскопии композиционного материала массовая доля армирующих матрицу микрочастиц кремния достигает 29 %, а их линейный размер составляет 3–5 мкм.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований [1, 3–5] и расширяют сложившиеся представления о взаимодействии расплавленного алюминия с огнеупорными материалами на основе кварцевого песка, контакт с которыми может сопровождаться максимальным переходом кремния в металлический расплав и существенным разрушением рабочей поверхности огнеупора.

Библиографический список

1. **Рафальский, И. В.** Термодинамический анализ реакций взаимодействия фаз компонентов литейных сплавов, полученных из алюмоматричных композиций на основе системы Al–SiO₂ / И. В. Рафальский, А. В. Арабей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2012. — Т. 9, № 3. — С. 375–378.
2. **Рябин, В. А.** Термодинамические свойства веществ : справочник / В. А. Рябин, М. А. Остроумов, Т. В. Свит. — Л. : Химия, 1977. — 392 с.
3. **Тогобицкая, Д. Н.** Влияние щелочесодержащих шлаков на разрушение футеровки доменной печи : тезисы докладов на Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва) / Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотью, Н. А. Циватая, Д. А. Степаненко // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 91.
4. **Кащеев, И. Д.** Повышение качества магнезиально-кварцевой керамики : тезисы докладов на Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва) / И. Д. Кащеев, М. С. Полухин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 73.
5. **Курганова, Ю. А.** Литейные методы изготовления дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов и особенности технологических операций при производстве изделий / Ю. А. Курганова // Технология металлов. — 2007. — № 9. — С. 40–43. ■

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Получено 14.01.14

© Р. А. Апакашев, С. Я. Давыдов,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ICC5
www.icc-5.com

5th International Congress on Ceramics

Aug. 17th-21st, 2014

Beijing International Convention Center, Beijing, China



ICC5 — 5-й международный конгресс по керамике

17–21 августа 2014 г.

<http://www.icc-5.com/>

г. Бейджин, Китай