

УДК 669.714.11

Д. Ф. Чернега, В. Н. Рыбак

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

МЕХАНИЗМ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗЕРНА АЛЮМИНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО РАСПЛАВА КАРБАМИДОМ

Предложен механизм уменьшения размеров зерна алюминия при обработке алюминиевого расплава карбамидом. Установлено, что добавление в алюминиевый расплав от 0,01 до 0,1 % карбамида приводит к появлению в расплаве частиц новой фазы размерами около 2-5 нм, которые по своей структуре сходны с нитридами и карбонитридами титана. Появившиеся частицы могут быть причиной измельчения зерна алюминия.

Ключевые слова: алюминий, алюминиевый расплав, размеры зерна, карбамид, нитрид и карбонитрид титана.

Запропоновано механізм зменшення розмірів зерна алюмінію при обробці алюмінієвого розплаву карбамідом. Встановлено, що додавання в алюмінієвий розплав від 0,01 до 0,1 % карбаміду призводить до появи в розплаві часток нової фази розмірами біля 2-5 нм, які за своєю структурою схожі з нітридами і карбонітридами титану. Частки, що утворилися, можуть бути причиною подрібнення зерна алюмінію.

Ключові слова: алюміній, алюмінієвий розплав, розмір титану, карбамід, нітрид і карбонітрид титану.

The mechanism of reduction of the grain size of aluminum is offered when processing aluminum melt by a carbamide. It is established that addition in aluminum melt from 0,01 to 0,1 % of a carbamide leads to emergence in melt particles of a new phase in the sizes about 2-5 nanometers similar on the structure to nitrides and carbon-nitrides of the titan. The appeared particles can cause of reduction of grain of aluminum.

Keywords: aluminum, the aluminum melt, the grain size, a carbamide, nitrides and carbon-nitrides of the titan.

Введение

При обработке расплавленного алюминия небольшим количеством карбамида значительно уменьшаются размеры зерна. Так, добавление в расплав около 0,05 % карбамида приводит к снижению размеров зерна литого алюминия с 690 до 110 мкм, то есть в 6,2 раза [1].

Некоторые исследователи связывают данное явление с насыщением расплава алюминия водородом, который содержится в карбамиде в количестве 6,6 % и переходит в расплав в процессе его разложения [2]. При кристаллизации алюминия растворенный водород скапливается на границе раздела твердой и жидкой фаз и препятствует росту кристаллов, тем самым способствуя появлению других зерен [3].

Описанным механизмом можно объяснить явление измельчения зерна алюминия, если водорода в алюминиевом расплаве достаточно много. Но, как показывают исследования, даже добавка 0,01 % карбамида, что равноценно добавке в 0,00066 % водорода, уже приводит к измельчению зерна. И это при условии, что значительная часть водорода, который образуется в процессе распада карбамида, не переходит в расплав, а удаляется из него в виде пузырей [1].

Таким образом, необходимо искать иной механизм измельчения зерна алюминия при обработке его малым количеством карбамида.

Методика исследований

В лабораторных условиях были проведены исследования влияния обработки небольшого количества карбамида на процесс измельчения зерна алюминия. В качестве объекта исследования использовали алюминий А7, химический состав которого представлен в таблице.

Химический состав алюминия А7

Al	Si	Cu	Ti	Fe	Zn
Основа	0,15	0,01	0,01	0,16	0,03

Технология обработки заключалась в расплавлении алюминия в печи типа СШОЛ с чугунным тиглем (емкостью 3 кг по алюминию) и нагревании его до требуемой температуры обработки (760 °С). Затем при помощи ковшика и предварительно прогретых металлических форм отбирали исходные пробы для структурных исследований.

На следующем этапе эксперимента в расплавленный алюминий на 2/3 глубины тигля при помощи колокольчика вводили карбамид. Масса карбамида составляла 0,1 % от массы алюминия в печи. При введении в расплав карбамида наблюдали эффективное бурление на протяжении нескольких минут. После этого пробы отбирали еще раз.

Перед проведением плавок тигель покрывали краской на основе оксида цинка.

Исследования химического состава алюминия проводили на установке эмиссионного спектрального анализа МФС-8.

Микроструктуру отлитых образцов исследовали на растровом электронном микроскопе Selmi РЭМ-106И, который позволяет также снимать микрорентгеновские спектры химических элементов, входящих в состав образцов.

Результаты

В соответствии с диаграммой состояния Al-Si-Fe в алюминии А7 можно ожидать следующий фазовый состав: Al + α (Al-Si-Fe) + Al₃Fe. Действительно, структура как необработанного, так и обработанного алюминия при увеличении в 300 раз практически не отличается и состоит из алюминиевой матрицы, белых включений (интерметаллидов железа) и пор (рис. 1).

Локальным микрорентгеноспектральным анализом установлен химический состав каждой фазы. Если химический состав интерметаллидов железа в необработанном и обработанном 0,1% карбамида алюминии практически одинаковый (рис. 2, 3), то химический состав алюминиевой матрицы очень сильно отличается

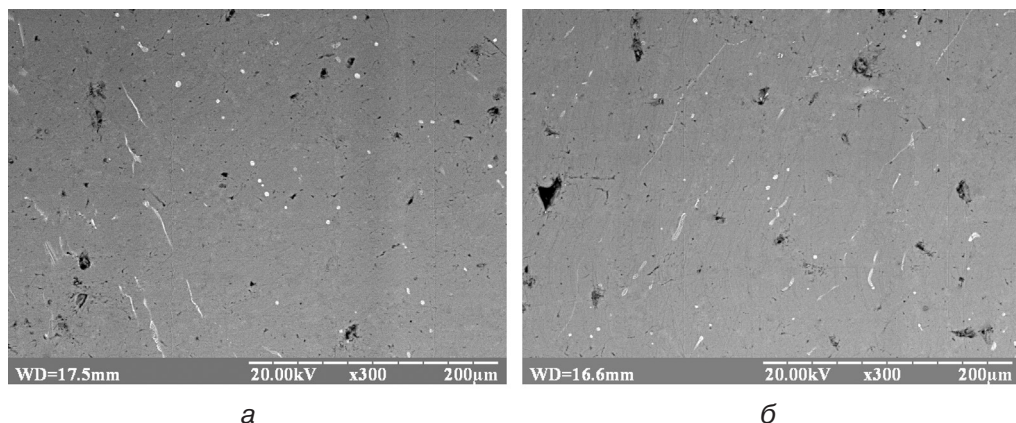


Рис. 1. Микроструктура алюминия А7 (без травления): а – без обработки карбамидом; б – после обработки 0,1 % карбамида

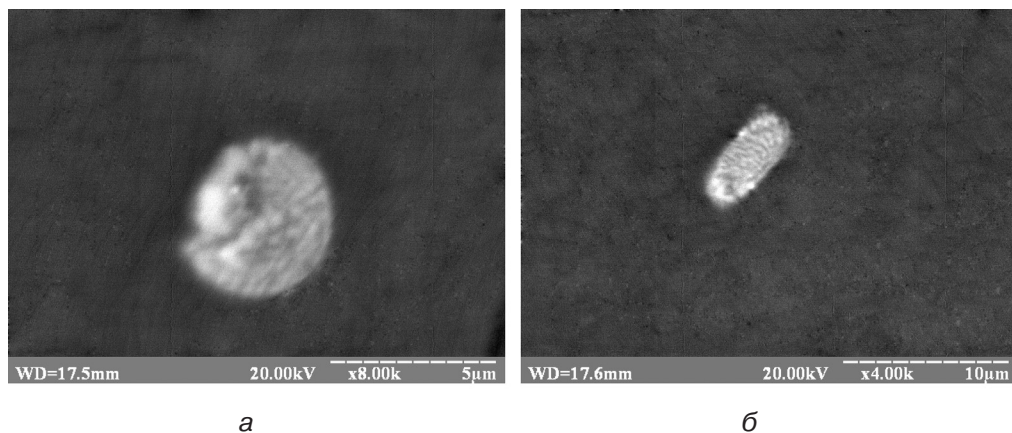


Рис. 2. Типы включений в необработанном алюминии А7 (без травления): а – интерметаллид Al_3Fe , в % (77,00 Al; 19,65 Fe; 2,96 Si; 0,39 Mg); б – интерметаллид Al_3Fe , в % (80,95 Al; 14,73 Fe; 3,79 Si; 0,35 Mg)

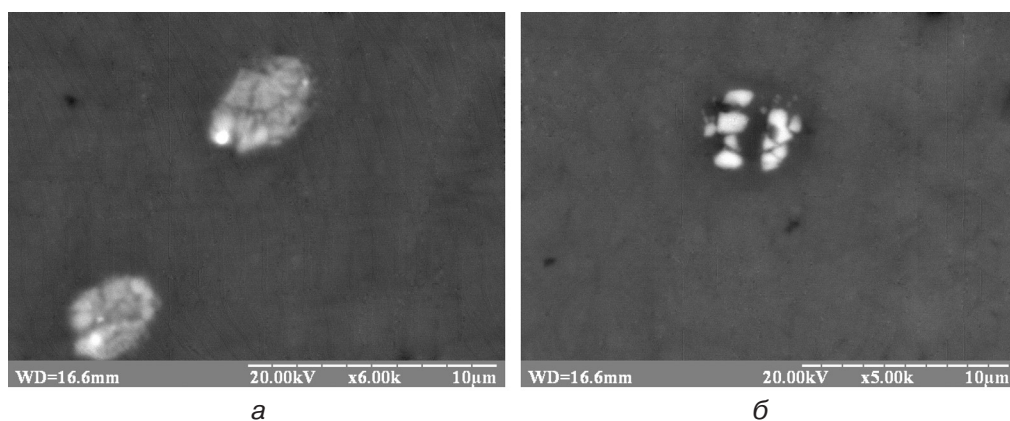


Рис. 3. Типы включений в обработанном 0,1 % карбамида алюминии А7 (без травления): а – интерметаллид Al_3Fe , в % (82,46 Al; 11,54 Fe; 3,16 Si; 0,38 Cu; 0,22 Mg); б – фаза Al-Ti, в % (56,17 Al; 42,06 Ti; 1,59 Si; 0,19 Mg)

по одному химическому элементу – титану. Так, необработанная карбамидом алюминиевая матрица состоит (в %) из 98,75 Al; 0,65 Mg; 0,25 Si и 0,28 Ti, обработанная – из 99,00 Al; 0,68 Mg; 0,25 Si и 0,08 Ti. Такое резкое снижение концентрации титана в 3,5 раза невозможно объяснить погрешностями эксперимента, так как концентрации других элементов остались практически неизменными.

Кроме того, в алюминиевой матрице после обработки алюминиевого расплава карбамидом появились новые дисперсные фазы, которые имеют в своем составе алюминий и титан (рис. 3). По своей морфологии эти фазы похожи на интерметаллиды титана Al_3Ti , но при такой низкой концентрации титана в алюминии вероятность появления таких фаз ничтожна.

Выводы

Проведенные исследования показали, что после обработки расплава алюминия А7 карбамидом в алюминии образуются частицы новой интерметаллидной фазы в виде конгломератов размерами 2-5 нм. По результатам локального рентгеноспектрального анализа установлено, что в состав частиц, кроме алюминия, входит титан.

Алюминий А7, который использовался в исследованиях, согласно масс-спектральному анализу содержал около 0,01 % растворенного титана. Также известно, что карбамид (кроме водорода) имеет в своем составе (в %) 46,7 N; 20 С и 26,7 О [4]. Эти элементы при распаде карбамида переходят в расплав и могут взаимодействовать с его компонентами.

Таким образом, именно высокая реакционная способность титана к азоту и углероду приводит к появлению описанных выше частиц, сходных по своей структуре с нитридами и карбонитридами титана. Возможность такого взаимодействия в алюминиевом расплаве описана в работе [5] и подтверждается результатами проведенных экспериментов.

Образование данных частиц, которые могут быть использованы в качестве дополнительных центров кристаллизации, и может являться причиной измельчения зерна алюминия при обработке расплава алюминия карбамидом.



Список литературы

1. Рибак В. М., Чернега Д. Ф. Технологія рафінування ливарних алюмінієвих сплавів // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 6. – С. 111-115.
2. Сороченко В. Ф., Чернега Д. Ф., Кудь П. Д., Рыбак В. Н. Модель влияния карбамида на содержание водорода в процессах рафинирования литейных алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 2011. – № 3. – С. 23-29.
3. Белик В. И., Борисов Г. П., Дука В. М. Водородное рафинирование при производстве и использовании вторичного алюминиевого сплава // Там же. – 2010. – № 5. – С. 11-23.
4. Кучерявый В. И. Синтез и применение карбамида. – М.: Химия, 1970. – 448 с.
5. Чернега Д. Ф., Могилатенко В. Г., Михаленков К. В. Массоперенос азота в жидких сплавах алюминия с титаном и марганцем // Процессы литья. – 1999. – № 4. – С. 11-15.

Поступила 21.11.2012