

**Получение алюмо-скандиевых лигатур при электролизе расплавов
KF-AlF₃-Sc₂O₃**

А.Ю.Николаев^{1,2}, А.В.Суздальцев¹, О.Ю.Ткачева¹, Ю.П.Зайков^{1,2}

¹Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
г.Екатеринбург,

²УрФУ, г.Екатеринбург

Алюминий получают электролизом криолит-глиноземного расплава при 950-960°C, большая его часть используется в электротехнике. В последнее время появился спрос на лигатуры алюминия с В, Ti, Sc и другими элементами. Интерес этот обусловлен тем, что уже незначительная добавка перечисленных элементов в алюминий улучшает его технологические свойства. В частности, 0.2 мас.% скандия в алюминий улучшает его прочность, коррозионную стойкость, свариваемость и устойчивость к рекристаллизации [1].

В настоящее время алюмо-скандиевую лигатуру получают смешиванием скандия с жидким алюминием [1]. Существенными недостатками такого способа являются высокая стоимость чистого скандия, его потери в ходе приготовления сплава, а также необходимость подбора и тщательного контроля параметров процесса охлаждения для равномерного распределения скандия в полученном алюминии. Чистый скандий может быть заменен на менее дорогой солевой флюс с фторидом скандия [2], однако для такого способа потребуется другой реактор при сохранении остальных недостатков.

Альтернативным способом получения алюмо-скандиевых лигатур может выступить осаждение скандия при электролитическом получении алюминия [3, 4], при этом в качестве скандий-содержащего сырья будет использоваться обогащенный по Sc₂O₃ концентрат из красного шлама [5].

В данной работе проведены первичные электролизные испытания по получению алюмо-скандиевой лигатуры электролизом легкоплавкого расплава $\text{KF-AlF}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ при 750°C .

При подготовке электролитов использовались индивидуальные реагенты (ОАО «ВЕКТОН»): KF ; NaF – ХЧ; AlF_3 – ХЧ; Sc_2O_3 – Ч. Перед измерениями расплав подвергали предварительному потенциостатическому электролизу с использованием графитовых электродов (разность потенциалов $-1,2$ В, длительность – 2 часа) для удаления остаточных электроположительных по отношению к алюминию примесей. Электролиз проводили в гальваностатическом режиме, используя источник постоянного тока PSW7 30-72 (GW Instek, Тайвань). Алюминий при этом перемешивали. В ходе электролиза измеряли температуру расплава, напряжение между анодом и катодом.

По окончании электролиза алюминий и расплав анализировали на содержание и распределение скандия методами SEM и EDX-ray при помощи рентгенофазового и микрорентгено-структурного анализатора DMAX-2500 (Rigaku, Япония) и сканирующего электронного микроскопа JMS-5900LV (JEOL, Великобритания). Химический анализ (ICP) осуществляли спектрально-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой при помощи оптического эмиссионного спектрометра iCAP 6300 Duo "Thermo scientific".

В ходе электролиза в течение $t = 130$ мин. напряжение между анодом и катодом при токе $I = 0,5$ А составило $U = 2,0 \pm 0,1$ В. В результате был получен алюминий, содержащий, масс. %: 0,51 скандия. Из массовой доли скандия (ω_{Sc} , %) в алюминии массой (m_{Al} , г) и количества пропущенного электричества ($Q_{\text{Sc}} = 1,1$ А/ч) был оценен выход скандия по току (CE_{Sc} , %) по выражению:

$$CE_{\text{Sc}} = \omega_{\text{Sc}} \cdot m_{\text{Al}} \cdot z \cdot F / (M_{\text{Sc}} \cdot Q_{\text{Sc}} \cdot 3600),$$

где $z = 3$ – количество электронов; $F = 96487$ Кл/моль – число Фарадея; $M_{\text{Sc}} = 45$ г/моль – молярная масса скандия. Выход по току составил выше 40 %.

Микрофотография шлифа полученного алюминия (SEM-анализ) и распределение скандия (EDX-ray анализ) в нем представлено на рисунке.

Наблюдается хорошее распределение скандия в алюминии, при этом средний размер скандий-содержащего зерна составляет менее 1 мкм.

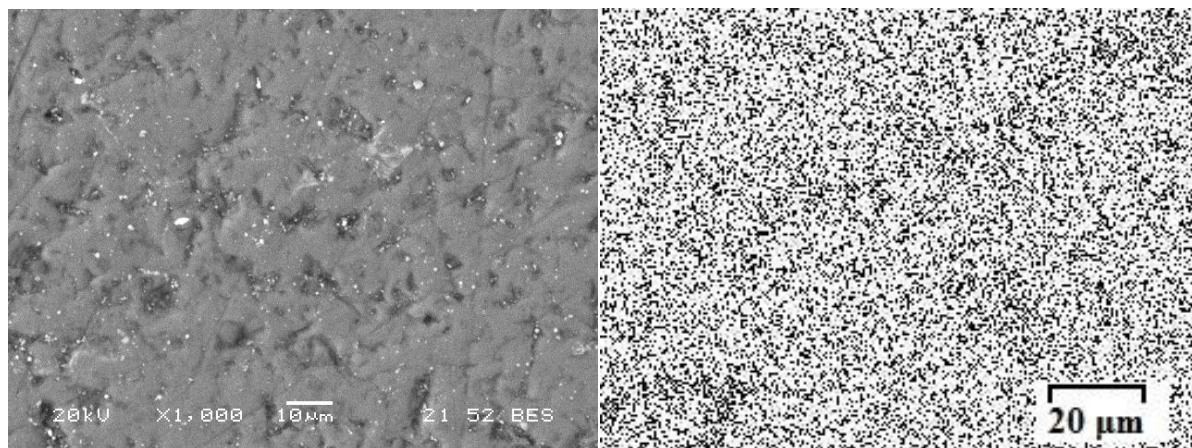


Рисунок. Микрофотография алюминия, полученного при электролизе расплава $\text{KF-AlF}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ (слева) и распределение скандия в нем (справа)

Стоит отметить, что полученные результаты являются лабораторными и предварительными. Для их уточнения необходимы дополнительные электролизные испытания, в том числе в электролизере с большей токовой нагрузкой. В частности, можно сделать предположение, что равномерное распределение скандия в нашем случае достигнуто за счет перемешивания алюминия. В промышленных же условиях, при более высокой токовой нагрузке, оно может достигаться за счет сил электромагнитного перемешивания.

В лабораторных условиях электролизом расплава $\text{KF-AlF}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ при $750\text{ }^\circ\text{C}$ получен алюминий, содержащий 0,51 мас.% скандия.

Показано равномерное распределение скандия в алюминии, которое достигнуто за счет механического перемешивания расплава.

Полученные данные могут быть использованы при подборе оптимальных параметров электролитического получения алюмо-скандиевых лигатур и сплавов в промышленном электролизере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (шифр заявки 2014-14-579-0032-0332). Авторы благодарят Молчанову Н.Г. и Панкратова А.А. за проведение анализов.

Литература

1. Royset J., Ryum N. International Materials Reviews. 2005. V. 50, P. 19.
2. Яценко С.П., Яценко А.С., Овсянников Б.В., Варченко П.А. Патент РФ 2421537 С2, приоритет от 02.02.2009.
3. Schwellinger P. Int. patent WO 2006/079353 A1, приоритет от 25.01.2005.
4. Liu Q., Xue J., Zhu J., Guan Ch. Light metals. 2012. P. 685.
5. Pyagai I.N., Yatsenko S.P., Pasechnik L.A. et al. Proc. of the 4th Int. Congress "Non-Ferrous Metals-2102", Sept. 5-7, 2012, Krasnoyarsk, Russia, P. 176.

УДК 669.71

Изучение свойств легкоплавкого электролита

В.Н. Письмак, И.В. Логинова, А.С.Ситшаева, М.С. Ситшаева

УрФУ, г. Екатеринбург

Существенным недостатком основного промышленного метода получения алюминия электролизом криолит-глиноземных расплавов является высокая температура процесса, на поддержание которой расходуется значительная часть электроэнергии.

При электролизе криолит-глиноземных расплавов, осуществляемом при 950°C, выход по энергии не превышает 35%, при электролитическом же получении более электроотрицательного магния, осуществляемом при 700°C, он достигает 57% [1].

Снижение температуры электролиза позволяет так же значительно увеличить срок службы электролизера, повысить качество получаемого металла, улучшить условия работы обслуживающего персонала, создать более благоприятные условия для реализации инертных анодов, биполярных электролизеров.

Нами была изучена возможность получения NaAlF_4 не как смеси солей, а в виде ионной моносоли. Его отличием от существующего в настоящий момент