

**МОДИФИЦИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИГАТУРЫ Al-Zr,
ПОЛУЧЕННОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ОКСИДНО-ФТОРИДНОГО
РАСПЛАВА**

В настоящее время растет спрос на многофункциональные сплавы и композиты на основе алюминия. Одними из наиболее востребованных в аэрокосмической отрасли и электротехнике являются алюминиевые сплавы с добавками циркония, поскольку его содержание в алюминии в пределах 0,2 мас. % существенно измельчает зерно [1], повышает прочность и термоустойчивость свойств при нагреве до 300°C. Легирование алюминия тугоплавкими металлами осуществляют путем растворения в алюминии или его сплавах лигатуры Al-Zr, состав и структура которых может существенно влиять на свойства получаемых сплавов. Улучшения модифицирующей способности при использовании лигатур можно добиться путем создания технологии, позволяющей производить лигатуры с минимальным размером, и наибольшей объемной долей образующихся алюминидов, которые будут служить центрами кристаллизации при выплавке целевой продукции. Наиболее распространенными способами изменения структуры металлов являются варьирование теплофизических параметров процесса кристаллизации, либо термическая обработка готовых изделий.

В данной работе изучено влияние параметров кристаллизации алюминиевого сплава, модифицированного лигатурой Al-Zr, на его структуру и твердость. Лигатуру Al-Zr получали ранее разработанным нами способом, включающим электролиз легкоплавкого расплава KF-NaF-AlF₃ с добавками ZrO₂ и Al₂O₃ при температуре 800°C [1].

Для изучения модифицирующей способности лигатуры использовали сплав АК6, который нагревали в высокотемпературной камерной электропечи ПВК-1.4 25 до 900°C и разбавляли необходимым количеством лигатуры Al-Zr с содержанием 10 мас.% циркония. Графитовый тигель со сплавом выдерживали в печи 10 минут, после чего сплав перемешивали графитовой мешалкой и сливали в чугунный кокиль. Для более детального изучения модифицирующей способности добавок циркония, были получены слитки сплавов АК6 с добавками циркония 0,1; 0,3; 0,5 мас. % при стандартной скорости охлаждения в графитовой изложнице при комнатной температуре. При изучении макроструктуры полученных сплавов было установлено, что добавка

циркония уже в количестве 0,1 мас % существенно измельчает зерно (Рис. 1), что согласуется с литературными данными [2]. Дальнейшее увеличение содержания циркония (до 0,5 мас. %) не показывает существенных изменений в размере зерна.

При изучении микроструктуры было установлено, что добавка циркония снижает средний размер зерен, но не влияет на микроструктуру сплава (Рис. 2). Это указывает на преимущественное влияние циркония на состав и свойства межзеренных границ.

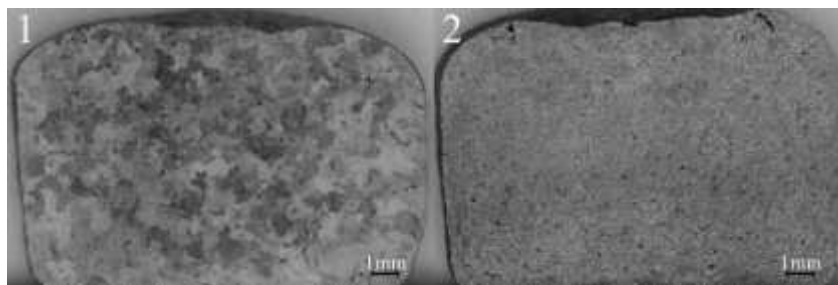


Рисунок 1 – Фотографии сплава АК6:
1 – без добавки циркония; 2 – с содержанием циркония 0,1 мас%

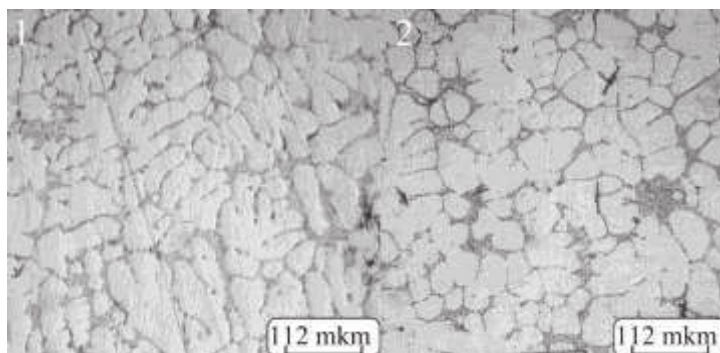


Рисунок 2 – Микрофотографии сплава АК6:
1 – без добавки циркония; 2 – с содержанием циркония 0,1 мас%

Для изучения влияния скорости кристаллизации сплавов, методом центробежного литья были получены диски сплава АК6, а также сплава АК6 с добавками 0,1, 0,3 и 0,5 мас.% циркония при скорости охлаждения 1000 К/с. Из фотографий (Рис. 3) и микрофотографий (Рис. 4) полученных образцов видно, что увеличение скорости охлаждения в 10000 раз измельчает зерно сплава АК6, при этом добавка циркония и быстрая кристаллизация приводят более чем к 25-кратному уменьшению средних размеров зерна. Наиболее мелкие зерна такого сплава не превышают 5 мкм.

Твердость сплава АК6 при добавлении циркония увеличилась на 3 НВ, а при быстрой кристаллизации на 10 НВ.

Полученные результаты указывают на применимость лигатуры Al-Zr, полученной электролизом расплава KF-NaF-AlF_3 с добавками ZrO_2 и Al_2O_3 , для модифицирования структуры и свойств алюминиевых сплавов.

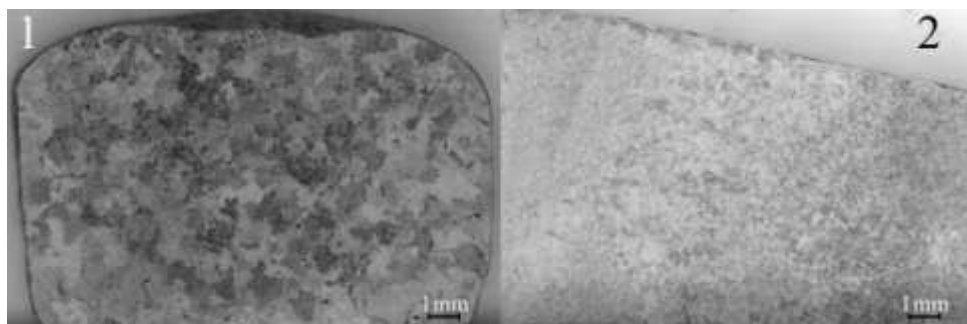


Рисунок 3 – Фотографии сплава АК6, полученного при разных скоростях кристаллизации: 1 – стандартная; 2 – 1000 К/с

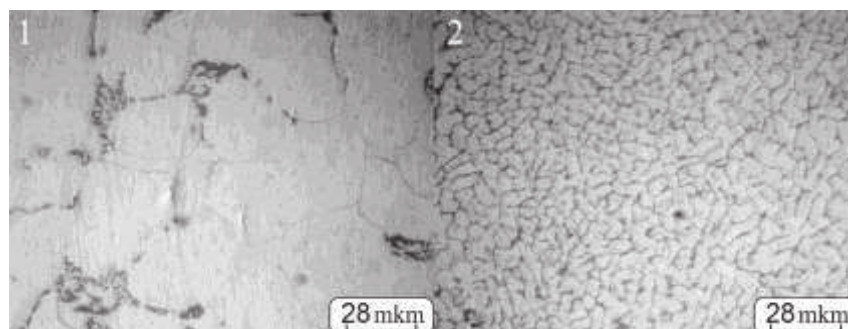


Рисунок 4 – Микрофотографии сплава АК6, полученного при разных скоростях кристаллизации: 1 – стандартная ; 2 –1000 К/с

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90144.

ЛИТЕРАТУРА

1. Filatov A.A., Pershin P.S., Suzdaltsev A.V., Nikolaev A.Yu., Zaikov Yu.P. Synthesis of Al-Zr master alloys via the electrolysis of $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-ZrO}_2$ melts // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2018. – Vol. 165(2). – P. E28-E34.
2. Ravi Kumar K., Pridhar T., Sree Balaji V.S. Mechanical properties and characterization of zirconium oxide (ZrO_2) and coconut shell ash (CSA) reinforced aluminium (Al 6082) matrix hybrid composite // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2018. – Vol. 765. – P. 171-179.