

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ПОРОШКАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

А.П. Хрусталёв¹, И.А. Жуков^{1,2}, С.А. Ворожцов¹

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.Б. Ворожцов

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН,

Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322

E-mail: tofik0014@mail.ru

**INVESTIGATION OF ALUMINUM ALLOYS MODIFIED ULTRAFINE POWDERS ALUMINUM
OXIDE**

A.P. Khrustalyov¹, I.A. Zhukov^{1,2}, S.A. Vorozhtsov¹

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.B. Vorozhtsov

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies SB RAS, Russia, Altai region,

Biysk, Socialisticheskaya str., 1, 659322

E-mail: tofik0014@mail.ru

***Abstract.** Analysis microstructure of the alloys obtained showed that the introduction of alumina nanoparticles brings to a decrease grain size of alloys from 339 to 174 mkm, while residual porosity not more than 2%. Introducing aluminum oxide particles increases the yield strength of 18 to 40 MPa and a ductility increased from 1,5% to 9, besides that the tensile strength, from to the initial alloy is significantly increased*

Введение. Повышение механических свойств алюминиевых сплавов является актуальной задачей материаловедения. Сочетание высокой прочности, твердости, пластичности при малой плотности обеспечивает алюминиевым сплавам передовые позиции в машиностроении. На сегодняшний день актуальным представляется упрочнение алюминиевых сплавов наноразмерными частицами различных тугоплавких соединений [1, 2]. В частности, в работе [2] показано что введение < 1 вес.% частиц наноразмерного оксида алюминия в алюминиевый сплав позволяет повысить прочность алюминиевых сплавов более чем на 50% при сохранении исходной пластичности, а эффект упрочнения достигается следующими механизмами: 1. частицы оксида алюминия являются эффективными центрами кристаллизации в расплаве обеспечивая, тем самым, мелкозернистую структуру слитка 2. дисперсное упрочнение слитка по механизму Орована [3]. Одним из высокопроизводительных методов получения ультрадисперсных порошков оксида алюминия является плазмохимическая технология. Преимуществом и особенностью плазмохимических систем является высокая энергонапряженность теплового потока: температура плазменных теплоносителей достигает ~ 10⁴ К, значения их энтальпии составляют (1-2)×10² ккал/моль [5], что обеспечивает большую удельную производительность оборудования. Благодаря этому, применение плазмохимического метода целесообразно для осуществления эндотермических процессов, например, получение наноксидов металлов из растворов солей. [5].

Цель работы: Исследование влияния ультрадисперсных частиц оксида алюминия на структуру и свойства сплава Al-4%Cu.

Материалы и методы. Аппаратная часть плазмохимического метода и технологии синтеза нанопорошков базируется на высокочастотном способе генерации теплоносителя, подаваемого в реакторную часть установки совместно с раствором прекурсора. Нанопорошки в данном способе синтезируются путем термохимического разложения жидких распыленных реагентов в высокотемпературном теплоносителе (рис. 1а).

Процесс плазмохимического синтеза является многостадийным и включает распыливание жидкого прекурсора с образованием полидисперсных капель в объеме реактора, движение капель в потоке газообразного теплоносителя, нагрев и испарение капель, сопровождающиеся диффузией и кристаллизацией соли металла в объеме капли, термолизом соли с образованием микропористой пленки при повышении температуры и ее спеканием в форме твердой частицы. [6] Общий вид установки плазмохимического синтеза приведен на рис. 1 б.

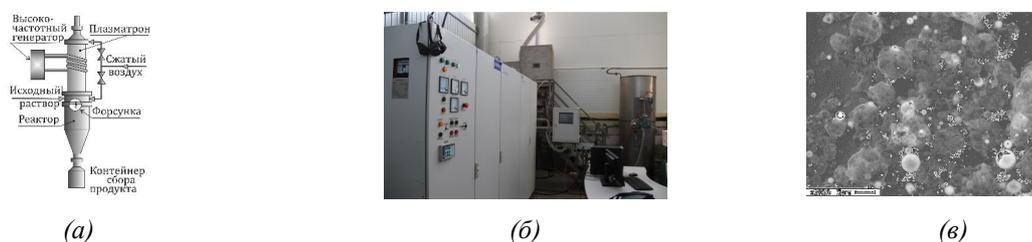


Рис. 1. Плазмохимическая установка синтеза ультрадисперсных порошков (а) принципиальная схема (б) общий вид и РЭМ изображение порошка Al_2O_3 , полученного плазмохимическим методом

В качестве матричного материала для получения алюминиевых композитов использовался сплав Al-4%Cu. Получение исходного сплава и композиционных материалов на его основе осуществлялось с использованием метода литья в кокиль. Введение порошка оксида алюминия осуществлялось с использованием ультразвуковой обработки расплава при температуре 750 °С.

Растяжение проводили на универсальной испытательной машине Instron 3368 при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение. Анализ микроструктуры алюминиевых композитов, рисунок 2, показал, что введение частиц оксида алюминия приводит к уменьшению размера зерна полученных слитков. Для сплавов, содержащих 0.05 вес.% частиц оксида алюминия размер зерна составил 213 мкм, для сплавов без частиц 336 мкм.



Рис.2. Микроструктура полученных сплавов: исходный сплав Al4%Cu, сплав Al4%Cu содержащий 0,05% Al_2O_3

В таблице 1 представлены механические свойства исходного сплава Al-4%Cu и композитов на его основе содержащих наночастицы оксида алюминия. Из таблицы видно, что введение частиц оксида алюминия способствует увеличению предела текучести от 18 до 40 МПа и увеличению пластичности от 1,5 до 9 %, кроме этого значительно увеличивается предел прочности, относительно исходного сплава.

Таблица 1

Механические свойства композиционных материалов на основе алюминия

	Модуль Юнга, ГПа	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Деформация до разрушения
Al4%Cu (20°C)	27	18	77	1,5
Al4%Cu+0,05%Al ₂ O ₃ (20°C)	38	33	132	9
Al4%Cu+0,1%Al ₂ O ₃ (20°C)	35	40	118	3,2

Заключение. Таким образом, установлено, что введение в сплав алюминия 0,05 вес.% плазмохимического порошка оксида алюминия, способствует уменьшению зерна получаемых слитков более чем на 40 %. Показано, что прочность сплавов, содержащих 0.05 частиц плазмохимического оксида алюминия составляет 132, в то время как у исходного (без частиц) сплава предел прочности составляет 77 МПа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60031 мол_а_дк и при финансовой поддержке гранта Президента МК-837.2017.8 договор № 14.Y30.17.837-МК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродова И. Г. Уймин М.А., Астафьев В.В., Котенков П.В., Попова Е.А., Яблонских Т.И. Синтез алюминиевых композитов с наноразмерными частицами карбида и бориды титана // Письма о материалах. – 2013. – Т.3. С. 91–94.
2. Vorozhtsov, S. A., Eskin, D.G., Tamayo, J., Vorozhtsov, A.B., Promakhov, V.V., Averin, A.A., Khrustalyov, A.P. The application of external fields to the manufacturing of novel dense composite master alloys and aluminum-based nanocomposites // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2015. – no. 7. – P. 2870–2875.
3. Vorozhtsov, S., Zhukov, I., Promakhov, V., Naydenkin, E., Khrustalyov, A., Vorozhtsov, A. The influence of ScF3 nanoparticles on the physical and mechanical properties of new metal matrix composites based on A356 aluminum alloy // JOM. – 2016. – no. 12. – P. 3101–3106.
4. Сурис А.Л. Плазмохимические процессы и аппараты. – М.: Химия, 1989. – 304 с.
5. Жуков И.А., Бондарчук С.С., Титов С.С. Теоретические исследования процесса плазмохимического синтеза порошковых материалов // Ползуновский вестник. – 2016. – Т.1. – № 4. – С. 73–75.
6. Жуков И. А. и др. Аналитическая оценка параметров формообразования частиц в плазмохимическом реакторе //Фундаментальные исследования. – 2016. – №. 12-3. – С. 486–490.