

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ**

**Суходаев П.О.,**

**научный руководитель канд. техн. наук Редькин В.Е.**

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время множество усилий направлено на снижение массы металлических конструкций. Это связано со стремлением уменьшить расход материалов и энергоресурсов. В странах ЕС и США, где постоянно растут ограничения на выбросы углекислого газа в атмосферу, производители стремятся снизить вес автомобилей, чтобы уменьшить потребление топлива. Снижение массы осуществляется, в основном, за счет замены стальных элементов кузова или всего кузова автомобиля на детали из алюминиевых сплавов. В тех областях, где стальные конструкции подвергаются сложным нагрузкам и высоким температурам, заменить их алюминиевыми проблематично, так как алюминий обладает низкой жаропрочностью.

Значительное повышение механических характеристик металлов возможно с помощью модифицирования их порошковыми наноматериалами. Как известно, физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики металлоизделий зависят не только от химического состава сплавов, из которых их изготавливают, но и от степени измельчения структурных составляющих. Чем мельче структура, тем выше механические свойства металлоизделий.

Перспективными модификаторами сплавов на основе алюминия являются наночастицы тугоплавких химических соединений. Совсем небольшие массовые доли (~0,01%) порошковых нанодобавок требуются для увеличения прочности металлов, при этом сохраняется пластичность [1]. Это обуславливает преимущество нанопорошков по сравнению со стандартными модификаторами (например, микрочастицами).

Влияние нанопорошков тугоплавких химических соединений на механические свойства металлических изделий объясняется тем что, наноразмерные частицы являются центрами кристаллизации, и сплав приобретает мелкозернистое строение. Кроме того, тугоплавкие наночастицы препятствуют движению дислокаций в кристаллической решетке, повышая усилие, необходимое для развития пластической деформации.

Одними из наиболее перспективных наноматериалов для модифицирования алюминия являются углеродные наноматериалы (аморфный углерод, графиты, графен, нанотрубки, наноалмазы), благодаря их высокой прочности, тугоплавкости, электропроводности.

При жидкофазном методе модифицирования прямое введение нанопорошков в расплав осложнено рядом причин: частицы легко агломерируют, образуют в воздухе пылевидную взвесь, задерживаются оксидной пленкой на поверхности расплава, окисляются и в дальнейшем не смачиваются. Поэтому для эффективного введения нанодобавок в металлическую матрицу используют различные специальные технологии (метод порошковой металлургии, ультразвуковое и электромагнитное замешивание, механоактивация и др. [2])

В данной работе для введения нанопорошков использовался метод, основанный на технологии, предложенной в [1] и [3]. Мелко нарубленную алюминиевую проволоку из матричного сплава смешивали с наночастицами и из полученной смеси прессовали таблетку, которую добавляли в расплав.

В качестве модификаторов использовались ультрадисперсный алмазографитовый порошок (УДП-АГ), ультрадисперсный алмазный порошок (УДП-А), выделенный из УДП-АГ, и нанодисперсный порошок оксида алюминия электровзрывного синтеза. УДП-АГ является продуктом детонационного превращения органических нитросоединений. Продукт представляет собой порошок черного цвета, состоящий из алмаза кубической модификации и графита. Состав и свойства УДП-АГ: углерод, не менее 85%, в том числе алмазы - 18-40%; насыпная плотность 0,01-0,5, г/см<sup>3</sup>; удельная поверхность 380-390 м<sup>2</sup>/г; диапазон размеров частиц 2-12 нм; средний размер частиц 4 нм [4]. Порошок оксида алюминия имеет средний размер частиц 15,5 нм и удельную поверхность 96 м<sup>2</sup>/г [5].

В качестве матричного металла был выбран технический алюминий марки А7. Металл плавил при температуре 800 °С в электрической печи сопротивления, после чего тигель с расплавом извлекали и помещали в него спрессованную таблетку, затем тигель снова помещали в печь. После расплавления таблетки расплав интенсивно перемешивали и заливали в специально изготовленный кокиль для получения призматических образцов (рисунок 1). Всего было изготовлено 6 модифицированных образцов: по 2 с различными массовыми содержаниями каждого порошка.



Рисунок 1 – общий вид полученных образцов

Как показали исследования макро- и микроструктуры, все модифицированные образцы обладают меньшим размером макро- и микрозерен по сравнению с исходным сплавом (на рисунках 2, 3 сопоставлены изображения структуры металла, модифицированного наночастицами с образцом из базового сплава А7).

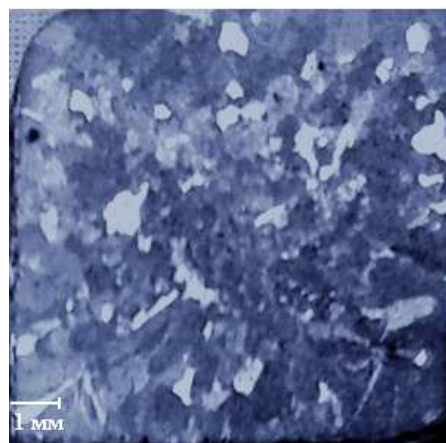


Рисунок 2 – Макроструктура образцов (слева немодифицированный, справа – с добавкой УДП-АГ)

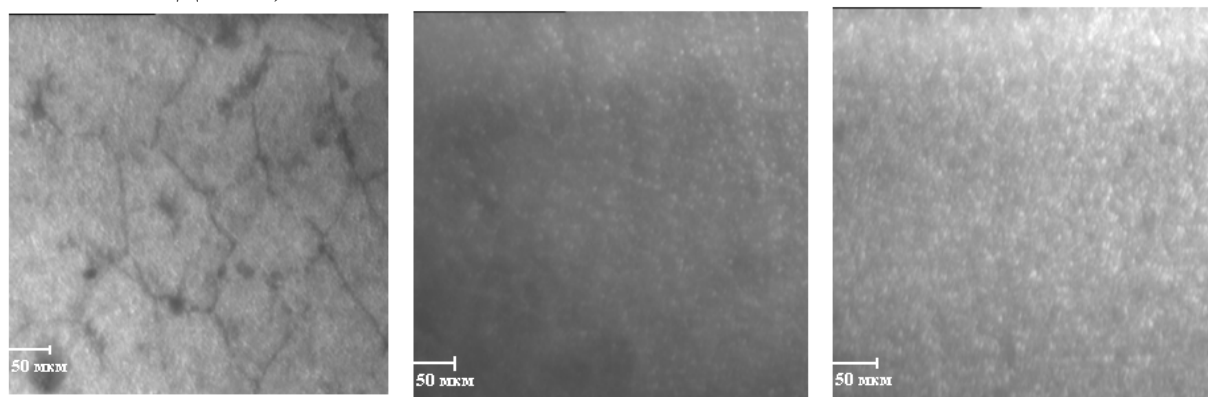


Рисунок 3 – Микроструктура; слева направо - базовый сплав А7; образец с пониженным содержанием  $Al_2O_3$ ; образец с повышенным содержанием  $Al_2O_3$

В таблице 1 приведены значения твердости по шкале Роквелла “В” (HRB)

Таблица 1 – Значения твердости полученных материалов

Содержание наночастиц	Немодифицированный образец	1-й состав			2-й состав		
		$Al_2O_3$	УДП-АГ	УДП-А	$Al_2O_3$	УДП-АГ	УДП-А
Порошок	-						
Твердость HRB	18,7	19,4 (+3,7%)	19,7 (+5,3%)	19,6 (+4,8%)	20,2 (+8,0%)	21,0 (+12,2%)	20,9 (+11,8%)

Модифицированные образцы, как видно из таблицы, обладают повышенной на 4-12% твердостью, причем при увеличении содержания упрочняющих частиц в образцах, твердость также увеличивается.

Полученные материалы могут быть рекомендованы для применения в легких конструкциях, а также в качестве упаковки электронных устройств.

### Список литературы

1 Сабуров, В. П. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В.П. Сабуров [и др.]. // Низкотемпературная плазма. Т. 12 – Новосибирск: Наука, 1995. – 344 с.

2 Borgonovo S., Makhlof M.M.: The synthesis of die-castable nano-particle reinforced aluminum matrix composite materials by in-situ gas-liquid reaction, proceedings of high tech die casting, Vicenza, 2012.

3 Суходаев П.О., Ардамин В.А., Композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные наночастицами // материалы XXIII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2011). - Москва, 14-17 декабря 2011 г.. / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2011. – 289 с.

4 Ставер, А.М. Ультрадисперсные алмазные порошки, полученные с использованием энергии взрыва / А. М. Ставер, Н. В. Губарева, А. И. Лямкин, Е. А. Петров // Физика горения и взрыва – 1984. – Т. 20, № 5

5 Электровзрывная технология получения наноразмерных порошков [Эл. ресурс] URL: <http://www.hcei.tsc.ru/ru/cat/technologies/tech12.html>.