

## Структура и физико-механические свойства алюминиевого сплава А7, упрочнённого волокнами базальта\*

В. Д. Валихов<sup>1</sup>, И. Л. Синкина<sup>1</sup>, А. Б. Ворожцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Проведено исследование влияния базальтовых волокон в количестве 5 мас.% на структуру и физико-механические свойства алюминиевого сплава А7. Комбинация ультразвукового и вибрационного воздействия на расплав алюминия и упрочняющего эффекта базальтовых волокон позволили повысить предел прочности, условный предел текучести и относительное удлинение до 83 МПа, 33 МПа и 40% соответственно. В результате исследований зафиксировано незначительное снижение электропроводности на 3%.

**Ключевые слова:** алюминий, базальт, базальтовые волокна, упрочнение, ультразвуковая обработка, вибрационная обработка.

### Введение

Для улучшения механических свойств технически чистого алюминия и создания композиционных материалов на его основе предпочтительно используются тугоплавкие керамические частицы, такие как оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) и карбид кремния (SiC). Введение нано- и микроразмерных частиц SiC приводит к значительному повышению предела прочности и твёрдости по Виккерсу.

Исследования, представленные в работах [1–3], показывают, что механические свойства алюминия улучшаются с увеличением концентрации наноразмерного SiC вплоть до 7.5 мас.%. Дальнейшее увеличение содержания SiC оказывает негативное влияние на трещиностойкость и пластичность. Композиционные материалы, армированные микроразмерным карбидом кремния, также демонстрируют тенденцию к одновременному росту предела прочности и твёрдости по Виккерсу. Важно отметить, что при этом плотность композита снижается с повышением доли SiC.

Введение карбида кремния негативно влияет на электропроводность технического алюминия. Основными причинами снижения проводимости являются увеличение пористости [4], диэлектрическая природа самого карбида кремния [5], повышение плотности дислокаций, что препятствует свободному движению электронов [6].

Аналогичная ситуация наблюдается при использовании оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), который, будучи диэлектриком, также замедляет движение электронов [7]. Механизмы, способствующие повышению прочности, также вносят дополнительный негативный вклад в проводимость, как было указано для карбида кремния.

В работе [8] для повышения механических свойств чистого алюминия в него были введены углеродные нанотрубки (УНТ) методом пропитки расплавом под низким давлением. Чтобы предотвратить реакцию между УНТ и алюминиевым расплавом с образованием карбида алюминия ( $Al_4C_3$ ), который негативно влияет на прочностные свойства, нанотрубки были покрыты оксидом кремния ( $SiO_2$ ).

Однако оксид кремния также вступает в реакцию с расплавом алюминия, образуя оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) [9]. Это согласуется с результатами Park et al. [10], которые зафиксировали ярко выраженные пики  $Al_4C_3$  в образцах, полученных методом пропитки расплавом, по сравнению со спечёнными образцами. Их исследования показали, что добавление 0.3 мас.% УНТ резко снижает пластичность, делая композит хрупким, что может быть напрямую связано с образованием  $Al_4C_3$ .

Температура обработки оказывает сильное влияние на образование карбидов, что объясняется более высокой реакционной способностью. Избежать образования карбидов становится практически невозможно при увеличении количества промежуточных этапов обработки (например, горячего прессования или искроплазменного спекания) или при использовании более высоких температур.

\* Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2024-0007.