

Таблица 1. Содержание легкой и тяжелой фракций в шлаке

| Плотность тяжелой жидкости, г/см <sup>3</sup> | Масса навески, г | Выход, % |
|---|------------------|----------|
| > 3,30  | 0,74             | 50,3     |
| 2,96–3,30                                     | 0,66             | 44,9     |
| < 2,96  | 0,07             | 4,8      |

тяжелой жидкости и определение недожога в каждой фракции.

Фракционный состав шлака определяли ситовым методом. Как видно из рис. 1, размер шлаковых частиц представлен в основном фракцией от 88 мкм до 1000 мкм и составляет 87,5%.

После определения фракционного состава шлака исследовалось содержание тяжелой (ТФ) и легкой (ЛФ) фракций в шлаке. Навеска шлакового песка помещалась в воронку с краном, куда наливалась тяжелая жидкость, в качестве которой использовались бромформ плотностью 2,96 г/см<sup>3</sup> и перфторметилметапентан плотностью 3,30 г/см<sup>3</sup>. Результаты опыта приведены в табл. 1, из которой видно, что 50,3% частиц имеют плотность более 3,30 г/см<sup>3</sup>, а частиц с плот-

ностью менее 2,96 г/см<sup>3</sup> всего 4,8%.

Дальнейшие исследования проводились для определения недожога, содержащегося в каждой фракции шлака и в образцах, полученных в тяжелых жидкостях. Образцы шлака прокаливались в муфельной печи при температуре 800 °С в течение 4-х часов, после чего определяли убыль веса образцов, представленной на рис. 2.

Как видно из гистограммы, наибольшее количество несгоревшего угля находится во фракции 0,2–0,5 мм и составляет 14,2%, меньшее количество (5,7%) содержится во фракции 0,5–1,02 мм.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что общее количество несгоревшего угля в шламе составляет 8,9%.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИНИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Д.А. Забелин, А.С. Чайникова, Н.Е. Щеголева  
Научный руководитель – к.т.н. А.С. Чайникова

*Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов ГНЦ РФ  
105005, Россия, г. Москва, ул. Радио 17, lab13@viam.ru*

Прозрачная керамика на основе оксинитрида алюминия (AlON) – материал, обладающий уникальным сочетанием оптических и механических свойств, который перспективен для применения в различных областях промышленности в качестве ударопрочных окон, прозрачных видимой и ИК-области. Наиболее распространенным аналогом AlON является монокристаллический сапфир, однако изготовление изделий из него является дорогим и малопродуктивным. Промышленное производство прозрачных материалов на основе AlON отсутствует в РФ, в то время как в США оксинитрид алюминия широко востребован и выпускается в промышленных масштабах. В связи с этим проведение исследований в области синтеза прозрачной керамики AlON продолжает оставаться актуальным.

По диаграмме состояния псевдобинарной системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–AlN, представленной в работе

[1], можно установить состав (35,7 мол.% AlN; 64,3 мол.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), температуры образования (1700 °С) и плавления (2165 °С) фазы γ-AlON. Основным недостатком синтеза керамики AlON является высокая температура ее спекания. Одним из способов ее снижения является введение спекающей добавки Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в количестве 0,6 мас.%, способствующей образованию жидкой фазы на границах зерен AlON и интенсификации процесса уплотнения керамики [2].

Другим способом снижения температуры является применение искрового плазменного спекания (ИПС) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и AlN [3], основными достоинствами которого являются возможность достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения и 100%-ного уплотнения заготовки при более низких температурах и временах обработки, чем традиционный обжиг или горячее прессование. Однако работы по получению

**Таблица 1.** Физико-механические свойства образцов керамики AlON, полученных на основе субмикронных порошков

| № образца | Содержание $Y_2O_3$ , мас. % | Диаметр образца, мм | T (ИПС), °C | $P_o$ , % | $\rho_{\text{каж}}$ , г/см <sup>3</sup> | $\rho_{\text{отн}}$ , % | $K_{IC}$ , МПа•м <sup>1/2</sup> | $H_V$ , ГПа |
|-----------|------------------------------|---------------------|-------------|-----------|---|-------------------------|---------------------------------|-------------|
| 1         | 0                            | 50                  | 1600        | 0,2       | 3,64                                    | 98,4                    | 3,6                             | 17          |
| 2         | 0,6                          | 50                  |             | 0,1       | 3,67                                    | 99,2                    | 3,7                             | 17          |
| 3         | 0                            | 50                  | 1700        | 0,8       | 3,61                                    | 97,6                    | 3,5                             | 17          |
| 4         | 0,6                          | 50                  |             | 0,1       | 3,66                                    | 98,9                    | 3,5                             | 17          |

AlON данным методом до сих пор были проведены лишь на образцах диаметром не превышающем 20 мм.

Таким образом, целью данной работы является синтез образцов керамики на основе AlON диаметром 50 мм методом ИПС и изучение влияния гранулометрического состава исходных порошков, введения добавки  $Y_2O_3$  и условий синтеза на процессы их спекания, фазообразования и физико-механические свойства.

Для проведения исследований из смесей микронных и субмикронных порошков  $Al_2O_3$  и AlN были изготовлены образцы керамики с добавкой и без добавки  $Y_2O_3$  в количестве 0,6 мас. % методом ИПС при температурах 1600 и 1700 °C с выдержкой в течение 1 ч и давлении 50 МПа.

Результаты измерений пористости, плотности и микротвердости образцов показали, что использование субмикронных порошков для синтеза керамики является более предпочти-

тельным, поскольку приводит к интенсификации процесса образования фазы AlON и повышению ее физико-механических свойств.

В таблице 1 представлены значения физико-механических свойств образцов керамики AlON, полученных на основе субмикронных порошков. Установлено, что образцы, содержащие спекающую добавку  $Y_2O_3$ , характеризуются меньшей открытой пористостью, более высокой плотностью и трещиностойкостью, что объясняется взаимодействием  $Y_2O_3$  с  $Al_2O_3$  в процессе спекания с образованием жидкой фазы между зёрнами, которая способствует более полному фазовому превращению AlN и  $Al_2O_3$  в AlON. При этом повышение температуры ИПС до 1700 °C приводит к снижению значений физико-механических свойств. Вероятно, это может быть обусловлено большим размером зёрен AlON, образовавшихся в процессе ИПС при более высоких температурах.

### Список литературы

1. McCauley J. W. et al. // *Journal of the European Ceramic Society*, 2009. – V.29. – №2. – P.223–236.
2. Li X., Luo J., Zhou Y. // *Journal of the European Ceramic Society*, 2015. – V.35. – №7. – P.2027–2032.
3. Sahin F. C., Kanbur H. E., Apak B. // *Journal of the European Ceramic Society*, 2012. – V.32. – №4. – P.925–929.

## КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ НИКЕЛЯ ПРИ ОСАЖДЕНИИ ИММЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

М.Г. Захарова

Научный руководитель - к.х.н. Л.Е. Устиненкова

ООО «ЭДМ-К1»

19202, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Б. Смоленский 10, L.Ustinenkova@gmail.com

Иммерсионные покрытия благородными металлами золотом и серебром находят широкое применение в производстве печатных плат и микроэлектронике как финишное покрытие под пайку и сварку. Наиболее известные из них химический никель – иммерсионное золото, им-

мерсионное серебро по меди, химический никель – иммерсионное серебро и т.д. Химический никель для представленных финишных покрытий является барьерным слоем и предотвращает диффузию металла – основы печатной платы на поверхность. Иммерсионное золото или серебро