

### Список литературы

1. Zaguzin A.S. et al. // *Molecules*. MDPI. – 2022. – Vol. 27. – № 4. – P. 1305.
2. Zaguzin A.S. et al. // *J. Struct. Chem.* – 2023. – Vol. 64. – № 11. – P. 2157.
3. Zaguzin A.S. et al. // *Russ. J. Coord. Chem.* – 2023. – Vol. 49. – № 7. – P. 414.
4. Zaguzin A.S. et al. // *J. Mol. Struct. Elsevier B.V.* – 2022. – Vol. 1255. – P. 132459.
5. Novikov A.S. et al. // *J. Struct. Chem.* – 2022. – Vol. 63. – № 11. – P. 1880.

## ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КОРДИЕРИТОВЫХ СТЕКОЛ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Е. Е. Звягина, Ш. М. Шарафеев, В. В. Шеховцов  
Научный руководитель – д.т.н., профессор О. В. Казьмина

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
eez14@tpu.ru

В настоящее время нано- и микрозернистую кордиеритовую керамику с высокими физико-механическими и диэлектрическими характеристиками получают путем кристаллизации стекол системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  [1]. В процессе кристаллизации стекла могут образовываться побочные фазы клиноэнстатита  $MgO \cdot SiO_2$ , шпинели  $MgO \cdot Al_2O_3$  и других соединений, которые оказывают негативное влияние на физико-механические характеристики материалов. Перспективным и энергоэффективным подходом к получению расплавов и покрытий на основе силикатов и оксидов различного состава является использование термической плазмы [2]. Использование плазменных установок позволяет производить нагрев расплавов в условиях, значительно превышающих температурный диапазон, реализуемый в традиционных печных агрегатах. Ограниченное применение плазменных установок для получения керамических материалов обусловлено сложностью прогнозирования и моделирования свойств конечных материалов в зависимости от исходного компонентного состава шихты для плавления.

Целью данной работы является установление влияния компонентного состава сырьевой смеси на процессы кристаллизации и спекания кордиеритовых стекол, полученных путем плавления в термической плазме.

В качестве материалов для получения кордиеритовых стекол были использованы смесь на основе природных талька и каолина, а также смесь на основе чистых оксидов. Смешение ком-

понентов проводилось в планетарной мельнице в среде дистиллированной воды. Часть смеси на основе природного сырья подвергалась обжигу в гранулированном состоянии при 1300 °С. Полученный спек дробился и измельчался до полного прохождения через сито с размером ячейки 63 мкм. В качестве нуклеаторов зародышеобразования для кристаллизации стекол в состав материалов вводились добавки  $TiO_2$  и  $ZrO_2$  в количестве 5 %. Плавление материалов проводилось на электроплазменном стенде. Полученные аморфные материалы без объемных и поверхностных кристаллических включений дробились и измельчались до размера частиц менее 63 мкм. Из порошковых стекол прессовались образцы в виде дисков, которые подвергались обжигу при температуре 900–1350 °С.

По результатам ДСК температура образования зародышей кристаллизации составляет 550–600 °С, а кристаллизация кордиерита  $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$  происходит при температуре порядка 1000 °С. Добавка  $TiO_2$  является эффективным катализатором, снижающим температуру кристаллизации стекол на 20–50 °С. Добавка  $ZrO_2$  увеличивает температуру кристаллизации кордиерита на 5–10 °С из стекол вследствие увеличения их вязкости. Согласно результатам рентгенофазового анализа, первичным продуктом кристаллизации является алюмосиликат магния состава  $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$  со структурой высокотемпературного кварца, который при увеличении температуры обжига диссоциирует на аморфный кварц и кордиерит.

Взаимодействие остаточного незакристаллизованного стекла с  $\text{SiO}_2$  также приводит к образованию кордиерита. При введении нуклеаторов в состав шихт при кристаллизации соответствующих стекол образуются побочные продукты в виде  $\text{Mg}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$  и тетрагональный  $\text{ZrO}_2$ .

Заметное спекание измельченных стекол начинается при температуре 1300 °С и выше. Керамика на основе стекол без добавок нуклеаторов при температуре обжига 1300–1350 °С характеризуется открытой пористостью порядка 15–20 %. Высокая пористость материалов обусловлена высокой степенью кристаллизации кордиерита с минимальным содержанием остаточной стеклофазы, в результате чего кордиеритовые материалы на основе данных стекол спекаются по твердофазному механизму.

Стекла, полученные на основе предварительно синтезированного кордиерита, характеризуются более низкими температурами кристаллизации по сравнению со стеклами из смесей природных компонентов или чистых оксидов, предположительно, вследствие образования при плазменной обработке расплава, имеющего более близкую к кордерииту структуру, что также обуславливает более интенсивное спекание соответствующих стеклопорошков в диапазоне температур 1300–1350 °С до открытой пористости 2–4 %. Технология получения силикатных стекол в системе  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  путем плавления в термической плазме представляется перспективной для получения кордиеритовых керамических и стеклокристаллических материалов.

### Список литературы

1. Xu X. // *J. Eur. Cer. Soc.* – 2021. – V. 41. – № 2. – P. 1593–1602.
2. Volokitin O.G. // *Glass Phys. Chem.* – 2018. – V. 44. – № 3. – P. 251–253.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИИ НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Р. С. Золин, С. М. Петрунин  
Научный руководитель – к.т.н., доцент И. С. Полянских  
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»  
[r.zolin48@gmail.com](mailto:r.zolin48@gmail.com)

### Введение

Наиболее распространенным материалом в современном строительстве является тяжелый бетон. Основной функциональной задачей – это восприятие и передача физико-механической нагрузки [1]. Однако, для повышения функциональной нагрузки требуется регулирование электротехнических свойств бетона [2].

Введение модифицирующих компонентов различной морфологической структуры позволяет повысить физико-механические характеристики минеральной матрицы, а в случае применения электропроводящих добавок – понизить и стабилизировать удельное объемное сопротивление. В свою очередь, это позволит применять их в качестве микронагревательных элементов конструктивных и отделочных материалах.

В исследованиях [2] установлено, что применение углеродсодержащих компонентов приводит к снижению удобоукладываемости смеси.

Для нивелирования данного эффекта вводят различные химические добавки: пластификаторы, гиперпластификаторы [2].

Таким образом, представленные в данной работе аспекты влияния комплексного модифицирования на физико-механические и электротехнические свойства тяжелого бетона являются актуальными для современного строительного материаловедения.

### Материалы и методы исследований

В рамках исследования составы тяжелого бетона были модифицированы комплексом добавок: углеродное волокно «Monsterfiber» (длина – 6 мм.; плотность – 1,68–1,80 г/см<sup>3</sup>); гиперпластификатор «Stahement-2000-M»; кварцевый песок, с  $M_k = 2,25$ ; щебень, фракции 5–20 мм; кальций азотнокислый;

Соотношение компонентов экспериментальных составов представлено в таблице 1.