

Анализируя полученные данные, видно значительное действие более высоковалентных ионов кальция и алюминия по сравнению с ионами натрия. Добавка  $AlCl_3$  обуславливает значительно больший объем осадка и гораздо меньший объем агрегатов каолинита. С увеличением концентрации  $AlCl_3$  от 0,001 до 1,0 моль/л, обладающего кислыми свойствами, появляется характерный резко выраженный максимум концентрации, сопровождающийся в дальнейшем минимумом на кривой. Вероятно, катион алюминия изменяет заряд каолиновой частицы, а слипающиеся частицы каолинита образуют массивные агрегаты. При этом кривые с электролитами  $Na_2SO_4$ ,  $NaCl$  несколько сдвинуты к области более низких концентраций.

Установлено значительное влияние ионов трехвалентных катионов на электростатические свойства каолиновых суспензий, добавление которого в минимальном количестве будет способствовать наибольшему увеличению седиментационного объема.

#### **Список использованной литературы**

1. Каолины / В. А. Вечер [и др.] // Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-та / Л. Ф. Ажгиревич [и др.] ; редкол.: А. М. Синичка (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2002. – С. 323–327.

2. Яковлева А.А., Мальцева Г.Д. Кристаллохимические аспекты оценки энергии взаимодействия частиц глинистых минералов // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – 2018. – Т. 41, № 1. – С. 99–114.

**УДК 621.318.13**

**Ларин А.О., Павлович К.А., Минчукова О.Ф., к.ф.-м.н., доцент,  
Желудкевич А.Л., к.ф.-м.н., доцент**  
*ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по материаловедению», г. Минск*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АМОРФНЫХ ПОРОШКОВ $FeSiBC$ и $FeSiAl$**

В последние годы активно разрабатываются электротехнические материалы на основе магнитомягких частиц сплавов железа с

электроизолирующим покрытием, позволяющие практически исключить потери на вихревые токи до высоких частот [1-4]. Такие материалы применяются для создания высокоэффективных трансформаторов и дросселей, работающих на частотах, существенно превышающих промышленную. Благодаря высокой магнитной индукции насыщения и низким потерям, сплавы на основе Fe применяются в сердечниках трансформаторов и магнитопроводах, а высокая магнитная проницаемость обуславливает использование в магнитных головках, сенсорах и экранах. В данной работе исследуется морфология и кристаллическая структура аморфных порошков FeSiBC и FeSiAl для определения их структурных характеристик и перспектив практического применения.

Морфологию порошков исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на Hitachi SEM, Zeiss. На рис. 1 показаны фотографии морфологии аморфных порошков FeSiBC (а) и FeSiAl (б). Видно, что порошок FeSiBC, полученный путем дробления лент, имеет равномерную толщину около 30 мкм и комплексную уплощенную пластинчатую структуру. Аморфный порошок FeSiAl, полученный комбинированным процессом газозольного распыления, имеет сферическую или близкую к сферической форме с гладкой и однородной поверхностью без очевидных углов или ребер. В отличие от порошка в форме хлопьев, сферический порошок проявляет изотропию формы: независимо от направления наблюдения частицы порошка сохраняют одинаковую сферическую структуру без заметной анизотропии или неправильной формы.

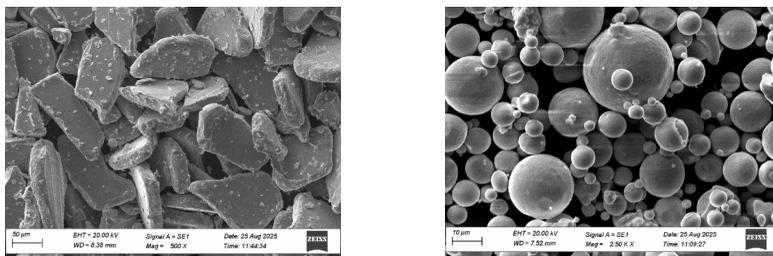


Рис. 1 Микроструктура частиц исходных аморфных порошков FeSiBC (а) и FeSiAl (б)

Изучение кристаллической структуры порошковых композиционных материалов выполнено в  $\text{CuK}\alpha$  – излучении с помощью модифицированного дифрактометра ДРОН-3 М в диапазоне углов  $20^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$  при комнатной температуре. Шаг сканирования составлял не более  $0,02$  градуса, время экспозиции – не менее 5 секунд. Фиксация данных производилась автоматически. На рис. 2 представлены рентгенограммы порошков порошков FeSiBC (а) и FeSiAl (б).

На рентгенограмме аморфного порошка FeSiBC наблюдаются уширенные пики в области малых и средних углов, что характерно для аморфных материалов. В области углов  $40\text{--}50^\circ$  наблюдается размытый пик, обусловленный присутствием  $\alpha\text{-Fe}$ .

Дифракционный спектр FeSiAl типичен для объемноцентрированной кубической (ОЦК) структуры  $\alpha\text{-Fe}$ . Поскольку дифракционные пики атомов Si и Al не обнаружены в этом спектре это может свидетельствовать о том, что их содержание в соединении не превышает 5%. На полученной рентгенограмме в позициях (111), (200) и (311) кристаллических плоскостей наблюдаются дифракционные пики сверхрешетки  $\text{DO}_3$ . Эта структура характеризуется определенным порядком в расположении атомов, что приводит к образованию периодической структуры с более крупной элементарной ячейкой по сравнению с исходной кристаллической решеткой.

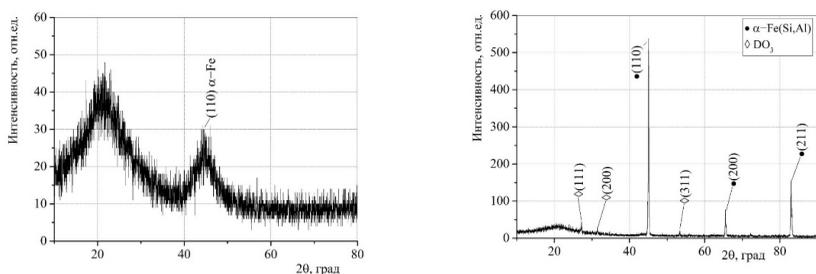


Рис. 2. Экспериментальные спектры рентгеновской дифракции FeSiBC (а) и FeSiAl (б)

### Заключение

В работе исследованы морфология и кристаллическая структура аморфных порошков FeSiBC и FeSiAl методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции. Порошок

FeSiBC характеризуется пластинчатой структурой толщиной около 30 мкм, тогда как порошок FeSiAl имеет сферическую форму с гладкой поверхностью. Рентгеноструктурный анализ показал аморфную структуру FeSiBC с присутствием фазы  $\alpha$ -Fe и кристаллическую ОЦК структуру  $\alpha$ -Fe для FeSiAl с образованием сверхрешетки. Сферическая форма порошка FeSiAl обеспечивает изотропию и будет способствовать равномерному формированию изолирующего слоя. Пластинчатый порошок FeSiBC требует использования связующих веществ для оптимизации процесса компактирования. Полученные результаты создают основу для разработки высокоэффективных электротехнических материалов на основе исследованных порошков.

#### **Благодарность (финансирование)**

Работа поддержана Белорусским Республиканским Фондом Фундаментальных Исследований (грант № Т24КИТГ-018).

#### **Список использованной литературы**

1. H. Amano [et al.] AIP Advances. **9**, 3 (2019) 035027.
2. A. Hasegawa [et al.] AIP Advances. **10**, 1 (2020) 015241.
3. B. Meng [et al.] J. of Magn. Magn. Mater. **492** (2019) 165651.
4. K. Vijayakumar [et al.] Mat. Today: Proc. **41** (2021) 1195.

#### **УДК 544.22**

**Минчукова О.Ф., к.ф.-м.н., доцент,  
Желудкевич А.Л., к.ф.-м.н., доцент, Карпинский Д.В., д.ф.-м.н.,  
Латушко С.И., Дубинин Н.А.**

*ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по материаловедению», г. Минск*

**Нгуен Ван Чанг, к.х.н.**

*Институт тропических технологий Вьетнамской академии наук и  
технологии, Ханой*

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМ $Ba_{1-x}(Bi,R)_xTi_{1-y}Fe_yO_3$ (R - La, Pr, Nd)**

В настоящее время актуальной задачей материаловедения является разработка новых электрокерамических материалов с диэлектрическими параметрами, соответствующими высоким требовани-