

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МАКРОМОДЕЛИ  
КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ**

В.А. Сыромясов, А.И. Иванов, Д.В. Акст

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.Ю. Столбоушкин

Сибирский государственный индустриальный университет,

Россия, г.Новокузнецк, пр. Кирова, 42, 654007

E-mail: [syromyasov@mail.ru](mailto:syromyasov@mail.ru)

**DEFINITION OF CRITICAL CONDITIONS FOR OBTAINING OF A MACROMODEL  
OF CERAMIC MATRIX COMPOSITES**

V.A. Syromyasov, A.I. Ivanov, D.V. Akst

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.Yu. Stolboushkin

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk, Kirov str., 42, 654007

E-mail: [syromyasov@mail.ru](mailto:syromyasov@mail.ru)

***Abstract.** The necessity for development of an approach to studying the phase composition and physico-chemical processes occurring during the firing of ceramic materials with a matrix structure based on technogenic and natural materials is substantiated. The study results on definition of critical conditions for obtaining of a ceramic matrix composites macromodel are presented.*

Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов, наряду с расширением их сырьевой базы, позволит улучшить экологическую обстановку промышленных регионов. Одними из наиболее важных проблем использования отходов в керамическом производстве являются их низкие технологические свойства и неоднородность по химико-минералогическому составу. Такое сырье требует разработки принципиально новых подходов к производству керамики [1].

Авторами разработаны технологические принципы формирования структуры изделий на стадии массоподготовки и прессования сырца, позволяющие получать керамические материалы из промышленных отходов с заданными физико-механическими характеристиками [2]. Создание керамических композиционных материалов матричной структуры возможно за счет грануляции заполнителя из этих отходов с последующим опудриванием полученных гранул легкоплавкой глиной, прессования полученных порошков, сушки и обжига изделий. В результате формируется керамический матричный композит, в котором ядра заполнителя заключены в хорошо спеченный пространственно-организованный каркас – матрицу.

Недостаточная изученность физико-химических процессов, протекающих при обжиге на границе «ядро-матрица», затрудняет разработку технологии стеновой керамики и прогнозирование эксплуатационных свойств материалов из различных видов сырья. Основные проблемы здесь связаны с малой толщиной граничного слоя, порядка 20...80 мкм, что усложняет проведение дифференцированного послойного фазового анализа с идентификацией минеральных фаз. Таким образом, при исследовании керамических матричных композитов возникла необходимость разработки масштабной физической

модели граничного слоя между ядром и оболочкой матрицы.

Цель работы заключалась в нахождении критических условий изготовления лабораторных моделей, обеспечивающих физическое подобие процессов, протекающих в керамических матричных композитах.

Достижение цели предусматривает постановку серии однофакторных экспериментов, в которых поэтапно исследуется влияние каждого отдельного фактора на процессы взаимодействия компонентов ядра и матрицы в слоях лабораторных моделей (модельных образцов). Оценка влияния фактора устанавливалась по отклику, проявляющемуся изменением фазового состава слоев модельного образца. Для оценки отклика использовался рентгенофазовый анализ, результаты которого сопоставлялись с прогнозом протекания вероятных твердофазных реакций, основанным на расчетах энергии Гиббса.

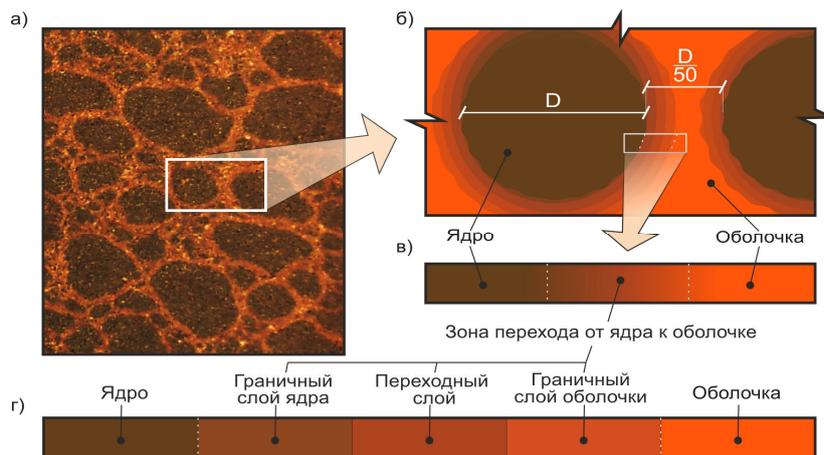


Рис. 1. Схема переходной зоны от ядра к оболочке в керамических образцах с матричной структурой

При приготовлении модельных образцов авторы исходили из того, что при формировании гранул из отходов с последующим «накатыванием» на их поверхность глинистой компоненты шихты в граничной зоне оба сырьевых материала частично перемешиваются. При этом распределение обоих компонентов на границе ядро-матрица интегрально изменяется в общей массе от 100 до 0 мас. % и наоборот. Дифференцируя этот переход на несколько зон с фиксированным соотношением компонентов, можно приближенно смоделировать границу раздела фаз в керамическом матричном композите.

Предварительно количество переходных слоев менялось от 1 до 5. Экспериментально было установлено, что один-два переходных слоя дают очень грубое приближение модели к реальным условиям матричной структуры. При формировании образцов с пятью переходными слоями возникли технологические проблемы, связанные со сложностью изготовления образцов-цилиндров на обычном лабораторном оборудовании [3]. Таким образом, оптимальным является формирование 3-х переходных слоев, а общее количество слоев в модельном образце составляет пять (рис. 1, г).

На первом этапе были проведены исследования по уменьшению толщины слоев до минимально возможных, позволяющих провести отбор проб материала для рентгенофазового анализа. В качестве материала ядра использовались шламистые железорудные отходы, матрицы – умереннопластичный суглинок. Подробная характеристика сырья приведена в работе [3].

С учетом ранее проведенных экспериментов при толщине слоев 9...10 мм [4] получены образцы с толщиной слоя до 4 мм. Экспериментально установлено, что дальнейшее уменьшение толщины слоя технологически затруднено при изготовлении образцов в стандартных лабораторных пресс-формах.

Сравнительный рентгенофазовый анализ модельных образцов показал, что интенсивность

дифракционных максимумов реликтового кварца, гематита и полевого шпата практически не изменяется при различной толщине слоев, в то время как она значительно уменьшается для минеральных фаз группы пироксенов (диопсид, авгит), шпинели и оливина. Протекание высокотемпературных реакций с образованием указанных минеральных фаз подтверждается и прямыми методами исследований, такими как петрография и электронная микроскопия [5].

На втором этапе изучали влияние направленного потока воздуха на взаимодействие слоев в процессе обжига модельного образца. Для оценки влияния организованного воздухообмена на диффузный массоперенос потребовалось изменение конструкции модельного образца. В соответствии с концептуальной схемой, изложенной в работе [4] были изготовлены многослойные модельные образцы с диаметром 60 мм и сквозным отверстием в центре диаметром 12 мм.

Для организации принудительного воздухообмена при обжиге сквозное цилиндрическое отверстие в теле образца с одной стороны плотно закупоривали, а к другой через смотровое отверстие в муфельной печи по кварцевой трубке подвали поток воздуха. После обжига были проведены исследования минеральных фаз аналогично первому этапу. Полученные экспериментальные данные совпадают с прогнозом протекания вероятных твердофазных реакций, основанным на расчетах энергии Гиббса в керамическом матричном композите из железорудных отходов и суглинка.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- уменьшение толщины дискретных слоев модельных образцов приводит к снижению интенсивности пиков высокотемпературных минеральных новообразований, при этом изменение фазового состава не происходит. Таким образом, изменение толщины слоя в пределах 4-9 мм не является критичным условием получения модельных образцов керамических матричных композитов;

- организация направленного воздухообмена между слоями модельных образцов способствует активизации теплопереноса при обжиге, усиливает взаимодействие между компонентами материала на границе ядро-матрица, что повышает адекватность разработанной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. – М.: Издательство, Ростов н/Д: Феникс. - 2007. – 6 С.
2. Пат. 2500647 РФ. МПК С1 С 04 В 33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко и др.; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.
3. Сыромясов, В.А. Приготовление лабораторных керамических образцов с послойным переходом от ядра из техногенного сырья к глиняной матрице / В.А. Сыромясов, А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов. // Материалы и технологии XXI века сб. ст. XIV Межд. науч.-техн. конф. - 2016. С. 235-239.
4. Столбоушкин А.Ю. Фазовый состав минеральных новообразований на границе ядра и матрицы в керамическом материале матричной структуры / А.Ю. Столбоушкин, В.И. Верещагин, О.А. Фомина, В.А. Сыромясов // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: Всероссийская науч.-практ. конф. с междунар. уч.. Новокузнецк, - 2016. С. 145-151.
5. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Столбоушкина О.А., Злобин В.И. Влияние температуры обжига на формирование структуры керамических стеновых материалов из тонкодисперсных отходов обогащения железных руд // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2014. - № 1. - С. 33-41.