

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кириллова Андрея Олеговича «Пористые керамические материалы на основе Al_2O_3 -SiC-SiO₂-MgO для применения в фильтрации и катализе», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – материаловедение

Актуальность темы. Развитие нефтехимической и химической отраслей обуславливает потребность в пористой керамике на основе Al_2O_3 , работающей при высоких температурах и в агрессивных средах. В то же время широкому практическому применению этих материалов препятствуют сложности их получения. Существующие на сегодняшний день способы получения пористой керамики на основе Al_2O_3 , такие как пенообразование, метод реплики шаблона, использование выгорающих добавок и аддитивные технологии, как правило, отличаются высокой энергоёмкостью, многостадийностью и ограниченными возможностями управления параметрами порового пространства, что существенно снижает их привлекательность. Перспективным способом получения таких материалов является метод подбора гранулометрического состава порошков, однако для керамики на основе Al_2O_3 он требует высоких температур спекания, что обуславливает необходимость введения спекающих добавок. Применение спекающих добавок MgO и SiO₂, образующих эвтектику с Al_2O_3 при 1350 °С, позволяет снизить температуру процесса, а введение в шихту мелкодисперсного SiC, частично окисляющегося *in situ* до активного SiO₂ в процессе нагрева, дополнительно интенсифицирует процессы спекания при более низких температурах. Систематические исследования, направленные на получение пористой керамики на основе Al_2O_3 -SiC-SiO₂-MgO при эффективном управлении параметрами порового пространства и физико-механическими характеристиками, до настоящего времени практически отсутствовали. Дополнительную значимость работе придаёт перспектива применения полученных материалов как конвертеров дегидрирования C₈-C₉ углеводородов.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих результатов и выводов, списка использованных источников из 157 наименований и одного приложения. Общий объём работы составляет 129 страниц, включая 48 рисунков и 5 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен аналитический обзор научно-технической литературы по теме диссертации. Рассмотрены виды, классификация и свойства пористых материалов, проанализированы основные методы получения пористой

керамики: введение выгорающих добавок, метод химического порообразования, пенообразование, метод реплики полимерной губки, золь-гель метод, 3D-печать и метод подбора гранулометрического состава. Для каждого метода указаны преимущества и недостатки. Отдельное внимание уделено получению пористых керамических материалов на основе Al_2O_3 и методам нанесения каталитически активных покрытий на пористые керамические материалы. На основе анализа литературных данных обоснованы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены объекты и методы исследования исходных компонентов, а также полученных материалов и изделий. Описаны используемые в работе методики получения и исследования параметров порового пространства и физико-механических характеристик пористых материалов.

В третьей главе представлены данные по влиянию соотношения наполнителя и связки, параметров формования и режимов спекания на характеристики пористых керамических материалов. Показано, что при массовом соотношении наполнителя и связки 70:30 и параметрах формования и спекания – $P = 40$ МПа и $T = 1300$ °С достигается оптимальное сочетание размера пор ($\sim 1,29$ мкм), пористости (~ 40 %), проницаемости ($\sim 2,95$ мкм²) и прочности на изгиб ($\sim 23,3$ МПа).

Четвёртая глава посвящена исследованию влияния гранулометрического состава наполнителя Al_2O_3 на морфологию и свойства пористых керамических материалов. Представлены результаты, показывающие, что с увеличением размера частиц наполнителя возрастают размер пор и проницаемость, однако существенно снижается удельная поверхность материала. Выявлено, что наполнители с размером частиц 50 и 100 мкм обеспечивают оптимальное сочетание параметров порового пространства и физико-механических характеристик для применения в фильтрации и катализе.

В пятой главе разработаны технологические схемы получения длинномерных трубчатых изделий (пористость 41 %, проницаемость 3 мкм², прочность 21,5 МПа) и каталитических конвертеров методами смешения и золь-гель. Разработанные каталитические конвертеры обладают рядом преимуществ по сравнению с промышленными аналогами, включая более низкую склонность к зауглероживанию и повышенную механическую устойчивость.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Обоснованность защищаемых положений и полученных результатов обеспечивается применением современных методов исследования, достаточным количеством экспериментального материала, применением стандартных методик исследования структуры и свойств.

Полученные в работе данные не противоречат результатам других авторов. Выводы и рекомендации, сформулированные в работе, экспериментально обоснованы.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 6 статей в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, а также в базы данных Scopus и

Web of Science, 3 тезиса в сборниках трудов научных конференций, получен 1 патент РФ на изобретение.

Значимость для науки и практики. Установлены закономерности фазо- и структурообразования пористых керамических материалов на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-MgO}$, определены оптимальные технологические параметры их синтеза. Разработаны составы и режимы получения пористой керамики с открытой пористостью до 43,5 %, газопроницаемостью от 0,36 до 10,73 мкм² и прочностью на изгиб до 25 МПа.

Впервые установлены зависимости параметров порового пространства от среднего размера частиц наполнителя (25–250 мкм) у материалов на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-MgO}$.

Разработаны научные основы технологии получения каталитически активных пористых керамических конвертеров трубчатой конфигурации, модифицированных WO_3 и Re_2O_7 , для процессов дегидрирования $\text{C}_8\text{-C}_9$ углеводородов.

Получен патент РФ на изобретение № 2817351 от 15.04.2024 г. «Способ получения каталитического конвертера на основе Al_2O_3 для дегидрирования $\text{C}_8\text{-C}_9$ углеводородов».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные результаты целесообразно рекомендовать к использованию для производства пористых керамических фильтрационных элементов и каталитических конвертеров на основе Al_2O_3 . Разработанные материалы представляют практический интерес для предприятий керамической, химической и нефтехимической промышленности, а также для научно-исследовательских организаций материаловедческого, химического, биологического профиля и производственных структур нефтехимической и химической отраслей.

Замечания по диссертации:

1. В главе 2 отсутствует явное описание погрешностей измерений (кроме одного примера в другой части работы), не указаны условия повторяемости экспериментов (n, доверительные интервалы).

2. В таблице 4 на стр. 84 представлены характеристики керамики на основе наполнителя 250 мкм, для которой открытая пористость составляет 30,3 %, что существенно отличается от диапазона 40–43 % для остальных составов. Причины столь значительного снижения пористости не обсуждаются.

3. В главе 5 при исследовании длинномерных изделий отсутствует детализированный анализ пространственной неоднородности свойств по длине и поперечному сечению образцов, включая пористость, распределение пор и прочность. Между тем учет указанных параметров является принципиально важным для оценки эксплуатационной надежности и перспектив промышленного применения разработанных материалов.

4. В главе 5 при описании каталитических свойств конвертеров результаты сравниваются с промышленными катализаторами типа К-24. Однако условия проведения экспериментов (размер конвертера, расход сырья) существенно отличаются от промышленных, что затрудняет прямое сопоставление. Следовало бы более подробно обосновать корректность такого сравнения.

5. В работе уделено недостаточно внимания длительным испытаниям полученных керамических материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Замечаний по оформлению работы нет.

Сведения, представленные в автореферате, соответствуют содержанию диссертационной работы.

Замечание по автореферату.

Отсутствуют разделы «Степень разработанности темы исследования» и «Перспективы дальнейшей разработки темы».

Заключение. Диссертация Кириллова Андрея Олеговича «Пористые керамические материалы на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-MgO}$ для применения в фильтрации и катализе» является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для материаловедения в области создания новых пористых керамических материалов и каталитических конвертеров с заданным комплексом.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 – Материаловедение:

– формуле паспорта специальности, поскольку диссертация посвящена разработке и получению новых пористых керамических материалов на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-MgO}$ с заданным комплексом свойств путём установления закономерностей влияния состава и структуры на свойства материалов;

– областям исследования паспорта специальности по пунктам 2, 4, 6, 16.

П.2. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих в гетерогенных и композиционных структурах.

П.4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

П.6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств неметаллических и композиционных материалов.

П.16. Создание неметаллических и композиционных материалов, способных эксплуатироваться в экстремальных условиях: агрессивные среды, повышенные температуры, механические нагрузки, вакуум и др.

Таким образом, диссертация Кириллова Андрея Олеговича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для создания перспективных композиционных материалов. Работа выполнена в соответствии с требованиями п. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Кириллова Андрея Олеговича.

Официальный оппонент.

Ученая степень: Доктор технических наук,

Ученое звание: Профессор,

Шифр научной специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Должность: директор «Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок» «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»



Ситников Александр Андреевич

20.05.2026 г.

Подпись Ситникова Александра Андреевича заверяю:

Начальник управления кадров и
документационного обеспечения АлтГТУ,
кандидат технических наук, доцент



Ананьин Сергей Владимирович

Почтовый адрес: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Сайт: <https://www.altstu.ru/>

Телефоны: 8 (3852)290721

E-mail: web@mail.altstu.ru