

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.34 на диссертационную работу Кроткевича Дмитрия Георгиевича «Формирование керамических композитов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C из прекерамических бумаг», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность тематики диссертационной работы

Материалы на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C являются перспективными для применения в качестве конструкционных материалов, применяемых в условиях повышенных механических нагрузок и коррозионного воздействия. В диссертационной работе Кроткевича Д. Г. рассматривается новый и перспективный технологический подход к разработке композиционных и функциональных материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C. Подход основан на применении в качестве исходного сырья прекерамических бумаг – нового листового материала, в котором керамический порошок - наполнитель находится в связанном состоянии с органическими наполнителями. Применение бумаг с наполнителем из МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C открывает новые возможности по созданию керамических материалов с повышенными физико-механическими свойствами.

Цель и задачи работы.

Целью работы является разработка конструкционных и функциональных материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C, получаемых из высоконаполненных прекерамических бумаг методом искрового плазменного спекания.

Задачи исследования.

1. Получить высоконаполненные прекерамические бумаги с содержанием порошкового наполнителя $Ti_3Al(Si)C_2$ 70, 80 и 90 мас. %. Изготовить композиционные материалы на основе МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$ и вторичных фаз TiC и Al_2O_3 методом искрового плазменного спекания.
2. Установить закономерности изменения фазового состава, микроструктуры и механических свойств композиционных материалов на основе МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$ в зависимости от содержания порошкового

наполнителя в высоконаполненной прекерамической бумаге и режимов искрового плазменного спекания.

3. Установить закономерности формирования микроструктуры и механических свойств функционально-градиентных материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C в зависимости от их архитектуры.

4. Провести исследования высокотемпературного окисления на воздухе и деформационного поведения, в том числе при повышенных температурах, композиционных материалов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C.

Научная новизна работы.

Впервые были успешно применены прекерамические бумаги для создания композиционных материалов на основе МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$ методом искрового плазменного спекания. Исследование выявило, что параметры спекания и концентрация порошкового наполнителя в прекерамических бумагах напрямую влияют на фазовый состав и микроструктуру материалов, приводя к разложению МАХ-фазы и образованию фаз TiC и Al_2O_3 при увеличении температуры спекания и уменьшении концентрации наполнителя. Кроме того, снижение содержания МАХ-фазы в материалах ухудшает их механические свойства, такие как прочность при изгибе и трещиностойкость, при этом увеличивается твердость ввиду наличия фаз TiC и Al_2O_3 . Также был разработан метод создания функционально-градиентных материалов с разным соотношением Al/Si, используя послойную укладку прекерамических бумаг с наполнителями из Al- и Si-обогащенной МАХ-фазы, что позволило получить материалы с прочностью при изгибе свыше 600 МПа и высокой устойчивостью к окислению при температуре 1300 °C.

Теоретическая и практическая значимость работы.

По результатам диссертационного исследования были выявлены закономерности в процессах формирования структуры и свойств композиционных и функционально-градиентных материалов на основе МАХ-фазах системы Ti-Si-Al-C, полученных путем искрового плазменного спекания прекерамических бумаг. В рамках данного исследования, с применением технологии прекерамических бумаг, были разработаны и получены функционально-градиентные материалы на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C.

Личный вклад автора.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, непосредственном участии в реализации исследования. Автор принимал участие в производстве исследуемых материалов, пробоподготовке, осуществлял структурный и фазовый анализ, проводил механические испытания. Также автор осуществлял обработку экспериментальных данных, принимал непосредственное участие в обсуждении результатов и в подготовке публикаций.

Анализ содержания работы.

Диссертационное исследование представлено на 121 странице, состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературных источников, представленного 142 наименованиями.

Во введении диссертации представлена актуальность выбранной темы исследования, формулируются его цели и задачи. Дан анализ степени разработки тематики на сегодняшний день. Представлены положения, выносимые на защиту, выделяется научная новизна, а также практическая и теоретическая значимость данной работы.

Первая глава содержит аналитический обзор литературы, охватывающей исследования материалов на основе МАХ-фаз. В ней анализируются методики и условия синтеза этих соединений, а также освещаются их основные физико-механические и химические свойства на примере системы Ti-Si-Al-C. Кроме того, в главе обсуждается содержание научных работ, касающихся производства и применения прекерамических бумаг и функционально-градиентных материалов.

Вторая глава посвящена методам изготовления прекерамических бумаг на бумагоделательной машине с использованием наполнителя из МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C, а также производству на их основе композитных материалов. Описаны также подходы к анализу структурно-фазового состояния и оценке механических характеристик исследуемых образцов.

Третья глава диссертации представляет результаты исследования закономерностей формирования структурно-фазового состояния и механических свойств в зависимости от параметров искрового плазменного спекания и содержания порошкового наполнителя МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C в прекерамических бумагах. В главе приведены характеристики исходных материалов – прекерамических бумаг в зависимости от количества порошка наполнителя. Уделено большое внимание эволюции структуры и фазового

состава при изменении параметров спекания и количества наполнителя в бумагах. Приведены результаты механических испытаний, в том числе при повышенных температурах (800 и 900 °С). Анализ результатов исследования показал, что композиты, изготовленные из прекерамических бумаг с 90 мас. % наполнителя, содержат более 80 об.% МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$ при температурах спекания 1150 °С и 1250 °С. Увеличение температуры спекания до 1350 °С приводит к уменьшению содержания МАХ-фазы из-за её частичного разложения. Также, композиты, полученные из прекерамических бумаг с содержанием наполнителя 90 мас.% при температуре спекания 1150 °С и 1250 °С, характеризуются плотной и однородной микроструктурой (пористость менее 1 %). Показано, что наилучшими механическими свойствами обладают композиты, имеющие в своем составе наибольшее содержание МАХ-фазы.

В четвертой главе описан метод изготовления функционально-градиентных материалов, используя прекерамические бумаги с наполнителем из МАХ-фаз из системы Ti-Si-Al-C. Полученные материалы обладают высокой коррозионной стойкостью при окислении на воздухе за счет использования в качестве внешнего слоя МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$, обогащённой Al, что способствует росту оксидного слоя, преимущественно состоящего из Al_2O_3 . В главе приведены результаты исследования механических свойств функционально-градиентных материалов, показано, что полученные материалы могут обладать пределом прочности на изгиб более 600 МПа. Приведены результаты механических испытаний на изгиб при повышенных температурах.

В заключении приведены основные выводы по выполненной диссертационной работе.

Достоверность результатов исследования обеспечена корректной постановкой и обоснованностью задач, применением современных аналитических методов и оборудования.

По результатам диссертационной работы было опубликовано 9 работ в научных журналах цитируемых в базах данных WoS/Scopus и входящих в перечень ВАК. Также результаты были апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации. Автореферат диссертации полностью соответствуют содержанию диссертации и отражает ее суть.

Замечания по диссертационной работе.

1. В работе приводятся результаты фазового содержания и структурных параметров композиционных материалов, при этом нет информации с какой точностью были определены данные значения.
2. В работе не хватает сравнения механических свойств полученных композиционных материалов с похожими материалами на основе исследуемых МАХ-фаз, полученных в других работах.
3. Чем обусловлен выбор режима при высокотемпературном окислении?

Приведенные замечания не снижают значимости полученных результатов положительного заключения по диссертационной работе в целом.

Заключение.

Диссертационная работа «Формирование керамических композитов на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C из прекерамических бумаг» соответствует требованиям п. 2.1 «Порядка присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете» (приказ № 362-1/од от 28 декабря 2021 г), а ее автор Кроткевич Дмитрий Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5–Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Я, Пак Александр Яковлевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.34, д.т.н.,
Лаборатория перспективных материалов энергетической отрасли,
Заведующий лабораторией

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина 30

Контакты: 7 (3822) 70-17-77 вн. 1948, ayapak@tpu.ru

Пак Александр Яковлевич

Дата «26» апреля 2024 г.

Подпись Пака А.Я. заверяю
И. о. ученого секретаря НИ ТПУ
Новикова В.Д.

