

AP19675471 «Разработка технологии синтеза композиционных керамических материалов системы Al_xFe_ySi с использованием аддитивного метода» - н.р. Андреященко В.А.

Актуальность:

Использование алюминиевых сплавов имеет неоспоримое преимущество перед многими другими сплавами, обусловленное в первую очередь малым весом, хорошими эксплуатационными свойствами, высокой электропроводностью, антикоррозионными свойствами и достаточными механическими характеристиками. Однако для достижения высокого уровня данных характеристик требуется легирование дорогостоящими, как правило, редкоземельными элементами. Такой подход приводит к резкому росту стоимости готовых деталей. Керамики типа MeSi (силициды) обладают высокой твердостью и износостойкостью. Для решения проблемы повышения качества деталей на основе алюминия решено разработать композиционный керамический материал Al_xFe_ySi . Уникальность материала заключается в возможности формирования фазы Al_8Fe_2Si , обладающей высокосимметричной кристаллической решеткой, обеспечивающей способность полученным композиционным керамическим материалам воспринимать пластическую деформацию.

Цель проекта:

Разработать технологию синтеза композиционных керамических материалов системы Al_xFe_ySi с использованием аддитивного метода для повышения качества структуры материалов и деталей на их основе.

Ожидаемые и достигнутые результаты

Ожидаемые результаты за 2023 год: Будет определен полный перечень легирующих элементов и их процентное содержание на основании принципов экономного легирования, выполнен фазовый и термодинамический анализ синтезируемого композита. Будет выполнена подготовка шихтовых материалов для синтеза композиционного материала: дробление и измельчение легирующих компонентов, классификация по размеру, фракционный анализ. Будет выполнен выбор состава флюса, исключаяющего взаимодействие шихтовых материалов с окружающей атмосферой и осуществлена его подготовка. Эмпирическим путем будут выбраны режимы синтеза и получены математические зависимости, характеризующие процесс получения композиционного материала. Будет принято участие в международной конференции с публикацией доклада.

Достигнутые результаты за 2023 год: Выявлены легирующие элементы, расширяющие интервал существования фазы Al_8Fe_2Si , определен полный перечень легирующих элементов и их процентное содержание на основании принципов экономного легирования. Выполнен фазовый и термодинамический анализ синтезируемого композита. Форма завершения – термодинамический и фазовый анализ в программном обеспечении ThermoCalc.

К основным легирующим элементам системы Al-Fe-Si относятся медь, никель, магний, хром, марганец и бор. Рассмотрено введение легирующих элементов в количестве до 1%, руководствуясь принципами экономного легирования. Выявлено, что указанные легирующие элементы способствуют изменению температурных границ образования высокосимметричной фазы Al_8Fe_2Si , добавление меди приводит к снижению нижней границы образования, никель, напротив повышает и нижнюю и верхнюю границы, при этом для всех рассмотренных элементов, фаза наблюдается при содержании железа не более 35%. Марганец расширяет границы существования фазы Al_8Fe_2Si .

Выполнена подготовка шихтовых материалов для синтеза композиционного материала: дробление и измельчение легирующих компонентов, классификация по размеру, фракционный анализ.

Выполнен дифференциальный термический анализ шихтовых материалов, получены термограммы. Исследование проведено на 10 составах с дублированием каждого опыта не менее 3 раз. Сопоставление термограмм с фазовыми диаграммами показало, что эндотермические эффекты, наблюдаемые на термограмме, совпадают с температурами начала выделения жидкой фазы.

Выполнено механическое легирование и компактирование шихты с учетом требуемого соотношения компонентов, дозирование и расфасовка.

Выполнен выбор состава флюса, исключаяющего взаимодействие шихтовых материалов с окружающей атмосферой. Осуществлена его подготовка. Выполнен гранулометрический анализ флюса.

Сварочно-технологические свойства флюсов для дуговой сварки и наплавки определяются следующими показателями: - высокая устойчивость горения дуги; - качественное формирование шва с плавным переходом к основному металлу; - низкая склонность к образованию пор и трещин; - хорошая отделимость шлаковой корки. На основании данных о газопроницаемости, составе флюсов и их назначении, выбрано для исследования два сварочных флюса: АН348 и АН60. Проведен термогравиметрический анализ с проверкой результатов рентгено-фазовыми исследованиями трех групп образцов: шихта, шихта с флюсом, флюс. Внутри групп образцов варьировался фракционный состав флюса, количество флюса, тип флюса. На основании экспериментальных данных выбран состав флюса, исключаяющего взаимодействие шихтовых материалов с окружающей атмосферой. Большую эффективность показал флюс АН-348А. Поэтому для дальнейших экспериментов по наплавке принят флюс АН-348А.

Эмпирическим путем выбраны режимы синтеза и получены математические зависимости, характеризующие процесс получения композиционного материала. Выявлены основные технологические условия, обеспечивающие эффективность синтеза металлокерамического материала аддитивным методом. В качестве основных технологических факторов определены: 1. Способ укладки шихты; 2. Величина тока; 3. Соотношение толщины шихты, толщины электрода, количества флюса; 4. Гранулометрический и химический состав флюса; 5. Фракционный состав шихты. Исследовано влияние следующих технологических факторов: изучены различные варианты укладки шихты: между основанием и электродом, на электроде, предварительно скомпактированная шихта и неуплотненная, различное соотношение количества шихты и ее размещение; изучено влияние толщины шихты, электрода и количества флюса на синтез металлокерамических материалов, выявлено влияние режима (величины токов) на процесс синтеза материала, влияние гранулометрического и химического состава флюса, изучено влияние фракционного состава шихты и флюса, влияние величины зазора между электродом и основанием на формирование дуги. Разработана технология синтеза компонентов композиционного материала с использованием аддитивного метода. Впервые получен металлокерамический материал системы Al-Fe-Si методом наплавки плавящимся электродом. Впервые получен металлокерамический материал системы Al-Fe-Si методом наплавки в порошковом слое.

Ожидаемые результаты за 2024 год:

- за 2024 год: Будет выполнен синтез композиционного материала, разработаны рациональные параметры реализации процесса и получена опытная партия. Будет разработан режим термической обработки полученного композита. Будет изготовлена опытная партия композиционного керамического материала и опытным путем выявлены рациональные параметры реализации процесса синтеза и термообработки.

Будет изучена способность полученного композиционного керамического материала воспринимать пластическую деформацию, в том числе при повышенных температурах. Будет пластически обработан полученный керамический материал, исследованы особенности формоизменения, энергосиловые параметры процесса деформирования. Будет определена предельная пластичность полученного композита, определены показатели, позволяющие спрогнозировать момент разрушения при разнообразных процессах деформирования.

Будет принято участие в двух международных конференциях с публикацией докладов, будет опубликована статья и (или) обзор в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science и (или) имеющих проценты по CiteScore в базе Scopus не менее 35 (тридцати пяти).

Достиженные результаты за 2024 год:

Выполнен синтез композиционного материала, разработаны рациональные параметры реализации процесса. Разрабатывается режим термической обработки полученного композита. Опытным путем выявлены рациональные параметры реализации процесса синтеза.

Сплав системы Al-Fe-Si синтезировали аддитивным методом, путем наплавки горизонтальным плавящимся электродом. Синтез выполнен с использованием пакета из пластин алюминия, установленных горизонтально, электродом являлось железо, а кремний добавлялся в виде порошка между пластинами алюминия. Расплавление пакета осуществлялось сварочной дугой, горящей от стального электрода. При этом ток наплавки подбирался из учета толщины пакета, процесс плавления происходил под слоем сварочного флюса для защиты от окисления и испарения компонентов сплава. Требуемый состав обеспечивается путем подбора количества алюминия, кремния и железа. Варьирование соотношениями количества пластин алюминия, электродов и порошкообразных материалов позволяет изменять механические и эксплуатационные свойства композита без использования дорогостоящих исходных компонентов сплавов в виде лигатур или специальных ферросплавов. Добавление кремния осуществляется путем нанесения на алюминиевые пластины предварительно измельченного кремния мокрым способом с последующей сушкой при комнатной температуре в течение не менее 12 часов. Соединение алюминиевых пластин с нанесенным кремнием в пакет может быть либо послойно, либо попарно. Полученный с использованием такого метода синтеза материал является компактным, с однородной микроструктурой и повышенными механическими свойствами.

Для разработки режима термической обработки опробовано три основных режима: -нагрев, выдержка, охлаждение на воздухе; -нагрев выдержка, охлаждение в воде; -нагрев, выдержка, охлаждение вместе с печью; -отжиг в среде дилатометра для обеспечения контролируемого режима скоростей нагрева и охлаждения, что недостижимо при использовании обычных термических печей (нагрев, выдержка, охлаждения в контролируемых условиях).

Список публикаций за 2024 год:

- Андрященко В.А. Изучение технологии синтеза металлокерамического материала системы Al_xFe_ySi //Труды университета №1 (94), 2024, 50-56;

Толеуова А.Р., Андрященко В.А. Компьютерное моделирование процесса формирования алюминиевой матрицы с помощью программы Thermo-Calc // Вестник ВКТУ №1, 2024, с. 244-251, DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_244



Рисунок 1 - Работа исследовательской группы над созданием композиционных керамических материалов системы Al_xFe_ySi с использованием аддитивного

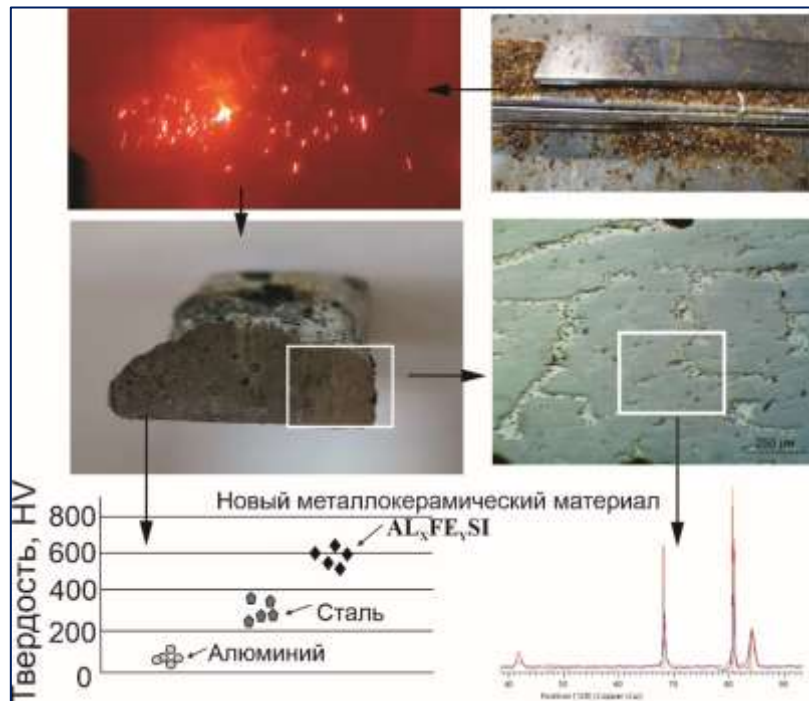


Рисунок 2 – Принципиальная идея нового металлокерамического материала



Рисунок 3 – Участие в Международной научной конференции APCON-2024, Словацкая Республика

Исследовательская группа:

№ п/п	Ф.И.О. (при его наличии), образование, степень, ученое звание	Индекс Хирша, идентификаторы ResearchID, ORCID, Scopus Author ID (при наличии)
1	Андреященко Виолетта Александровна, PhD, ассоциированный профессор (доцент) по специальности металлургия, Руководитель ИЛИП «КОРМС»	Индекс Хирша (Scopus) – 7; Индекс Хирша (WoS) - 6; ResearchID: H-4328-2013; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6933-8163 ; Scopus Author ID 55308057400 .
2	Бартенев Игорь Анатольевич, к.т.н., доцент, доцент каф. ТОМиС	Индекс Хирша (Scopus) – 1; ORCID: 0000-0001-8982-7319 ; Scopus Author ID: 57207457067.
3	Ибатов Марат Кенесович, д.т.н, профессор каф. ТТиЛС	Индекс Хирша (Scopus) – 3; Индекс Хирша (WoS) – 2; ResearchID: N-9320-2017; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5062-7790 . Scopus Author ID: 57189211438.
4	Алина А.А., магистр, ст. преподаватель каф. НТМ	Индекс Хирша (Scopus) – 1, Индекс Хирша (WoS) – 1. ResearchID: DRQ-4173-2022, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3577-4914 , Scopus Author ID: 57218196165.
5	Малашкевичуте-Брийан Е.И., магистр, ст. преподаватель каф. НТМ	Индекс Хирша (Scopus) – 1; Scopus Author ID: 5876248970

Список публикаций

1. Андрященко В.А. Влияние флюсов при получении металлокерамических материалов системы Al-Fe-Si// ВЕСТНИК КГИУ № 2 (41) 2023 г., с. 25-30.

2. Андрященко В.А., Толеуова А.Р. Современный методы синтеза металлокерамических материалов системы Al-Fe-Si//Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации и комплексная переработка минерального сырья - актуальные составляющие диверсификации экономики», посвященной 30-летию Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, Алматы, 2023г., с. 107-109.

3. Толеуова А.Р., Андрященко В.А. Компьютерное моделирование фазовых процессов в алюминиевой матрице//Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации и комплексная переработка минерального сырья - актуальные составляющие диверсификации экономики», посвященной 30-летию Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, Алматы, 2023г., с. 82-83

4. Андрященко В.А. Изучение технологии синтеза металлокерамического материала системы Al_xFe_ySi / /Труды университета №1 (94), 2024, 50-56; DOI: 10.52209/1609-1825_2024_1_50

5. Толеуова А.Р., Андрященко В.А. Компьютерное моделирование процесса формирования алюминиевой матрицы с помощью программы Thermo-Calc // Вестник ВКТУ №1, 2024, с. 244-251, DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_244

Информация для потенциальных пользователей:

Результаты Проекта применимы для изготовления элементов машин, работающих в тяжелых условиях и подвергающиеся интенсивному износу. Использование нового сплава в качестве конструкционного материала позволяет существенно снизить вес готовых изделий (более чем в 2 раза) по сравнению со стальными изделиями, при этом твердость нового композиционного материала выше.

Область применения:

Область применения результатов Проекта автомобилестроительная и машиностроительная отрасли. Целевыми потребителями полученных результатов будут машиностроительные и автомобилестроительные предприятия, элементы машин, работающие в тяжелых условиях и подвергающиеся интенсивному износу.

Дата обновления информации: 05.07.2024 г.