Воротыло Степан Cоздание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

кандидат наук Воротыло Степан

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Физико-химические и механические свойства высокотемпературных керамических соединений - основы СВТКМ

1.1.1 Бориды тантала, циркония и гафния

1.1.2 Силициды тугоплавких металлов

1.1.3 Карбид кремния

1.2 Методы синтеза порошков высокотемпературных керамических соединений

1.2.1 Печной синтез

1.2.2 Электрохимический синтез

1.2.3 Металлотермический синтез

1.2.4 Золь-гель синтез

1.2.5 Пиролиз

1.2.6 Механохимический синтез

1.2.7 Испарение - конденсация

1.2.8 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС)

1.2.8.1 Общие сведения

1.2.8.2 СВС тугоплавких диборидов

1.2.8.3 СВС дисилицидов тантала и циркония

1.2.8.4 СВС карбида кремния

1.3 Методы интенсификации СВС

1.3.1 Предварительный подогрев

1.3.2 Прямое пропускание электрического тока

1.3.3 Применение реакционных атмосфер

1.3.4 Применение химических добавок

1.3.4.1 Применение тефлона при СВС карбида кремния

1.3.5 Механическая активация

1.3.5.1 Механоактивация в системе Si-C

1.3.5.2 Механоактивация в системе Ta-Si

1.3.5.3 Механоактивация в системе Mo-Si

1.3.5.4 Механоактивация в системе Hf-B

1.4 Методы консолидации керамико-матричных композитов

1.4.1 Горячее прессование (ГП)

1.4.2 Искровое плазменное спекание (ИПС)

1.4.3 Интенсификация процессов спекания при использовании многофазных композиционных СВС порошков

1.5 Методы получения и преимущества иерархически-структурированных керамик

1.6 Выбор объектов исследования -СВС-систем

ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Исходные материалы

2.2 Смешение и механическая активация

2.3 Определение теплоты сгорания реакционных смесей

2.4 Реализация СВС реакционных смесей

2.5 Подготовка металлографических шлифов

2.6 Сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионная спектроскопия

2.7 Просвечивающая электронная микроскопия

2.8 Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия

2.9 Рентгеноструктурный фазовый анализ

2.10 Расчет адиабатической температуры горения

2.11 Определение скорости и температуры горения

2.12 Закалка фронтов горения в медном клине

2.13 Динамическая рентгенография волны горения

2.14 Определение гранулометрического состава порошков

2.15 Горячее прессование

2.16 Измерение плотности компактных продуктов синтеза

2.17 Измерение твердости и трещиностойкости

2.18 Измерительное индентирование

2.19 Эксперименты по окислению в статических условиях

2.20 Газодинамические испытания керамик

ГЛАВА 3. МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫЙ СВС (МА-СВС) В СМЕСЯХ Бь С-Та, Б1-С-Та-С2р4, БьС-Та-Сволокно- С2р4

3.1 МА СВС в системе БьС-Та

3.1.1 Исследование влияния режимов МА на микроструктуру, фазовый состав и теплоту сгорания смесей БьС-Та

3.1.2 Зависимость макрокинетических параметров горения от состава и режима МА смесей БьС-Та

3.1.3 Исследование фазовых и структурных превращений в волне горения смесей БьС-Та

3.1.3.1 Динамическая рентгенография волн горения

3.1.3.2 Исследование закаленного фронта горения

3.1.4 Размол и отмывка продуктов горения. Получение композиционных порошков

3.2 МА СВС в системе Si-C-Ta-C2F4

3.2.1 Влияние добавки тефлона на микроструктуру, фазовый состав и теплоту сгорания реакционных смесей Si-C-Ta, Si-C-Ta-С2F4

3.2.2 Влияние добавки тефлона на фазовый состав и микроструктуру продуктов горения

3.2.3 Размол и отмывка продуктов горения. Получение композиционных порошков

3.3 МА СВС в смесях Si-C-С2F4-Cволокна, Si-C-Ta-С2F4-Cволокна

3.3.1 Микроструктуры и фазовый состав продуктов горения в смесях Si-

C-С2F4-C волокна

3.3.2 Микроструктуры и фазовый состав продуктов горения в смесях Si-

C-Ta-С2F4-C волокна

3.3.3 Механизмы структуро-и фазообразования в волне горения смесей

Si-C-Ta-С2F4-C волокно

3.3.3.1 Формирование керамической матрицы

3.3.3.2 Механизм роста карбидокремниевых нановолокон в волне горения

3.3.4 Оптимизация параметров СВС и содержания углеродных волокон для роста нановолокон карбида кремния

3.3.5 Размол и отмывка продуктов горения. Получение композиционных порошков

Выводы по главе

ГЛАВА 4. МА-СВС В СМЕСЯХ Mo-Hf-Si-B

4.1. Влияние режима МА на микроструктуру, фазовый состав и теплоту сгорания смесей Mo-Hf-Si-B

4.2. Зависимость макрокинетических параметров горения от состава и режима механоактивации смесей Mo-Hf-Si-B

4.2.1 Зависимость макрокинетических параметров горения от состава смесей Мо-Ш-БьВ

4.2.2 Зависимость макрокинетических параметров горения от способа приготовления смесей Мо-Ш-БьВ

4.3. Оптимизация режима МА с точки зрения фазового состава продуктов горения

4.4 Исследование фазовых и структурных превращений в волне горения смесей Мо-Ш-БьВ

4.4.1 Динамическая рентгенография волн горения

4.4.2 Исследование закаленного фронта

4.5 Размол и отмывка продуктов горения. Получение гетерофазных порошков

Выводы по главе

ГЛАВА 5. СВС В СМЕСЯХ /г-Та-БьВ

5.1 Раздельный и совместный синтез

5.2. Исследование макрокинетических параметров горения смесей /г-Та-Бь В

5.3 Исследование фазовых и структурных превращений в волне горения смесей /г-Та-БьВ

5.3.1 Динамическая рентгенография волн горения

5.3.2 Исследование остановленного фронта горения

5.4 Размол и отмывка продуктов горения. Получение гетерофазных порошков

Выводы по главе

ГЛАВА 6. СВОЙСТВА КЕРАМИК, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ПРЕССОВАНИЕМ СВС-ПОРОШКОВ

6.1. Горячее прессование керамик из порошков MoSi2-HfB2-MoB

6.1.1 Механические свойства консолидированных образцов MoSi2-HfB2-MoB

6.1.2 Исследование механизмов и кинетики окисления керамик MoSi2-HfB2-MoB в условиях статического окисления

6.1.2.1 Окисление при 1200 °С

6.1.2.2 Окисление при 1650 °С

6.1.3 Исследование механизмов и кинетики окисления керамик MoSi2-HfB2-MoB в условиях ГДИ при воздействии высокоэнтальпийного газового потока

6.2 Горячее прессование керамик ZrB2-TaB2-TaSi2

6.2.1 Механические свойства керамики ZrB2-TaB2-TaSi2

6.2.2 Исследование жаростойкости керамик ZrB2-TaB2- TaSi2 в условиях ГДИ при воздействии высокоэнтальпийного газового потока

6.3 Горячее прессование керамик SiC-TaSi2

6.3.1 Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия продуктов горения при нагреве до 1800 оС

6.3.2 Оптимизация режимов горячего прессования порошков SiC-TaSi2

6.3.3 Механические свойства керамик из порошков SiC-TaSi2

6.4 Горячее прессование керамик из порошков SiC-TaSi2-SiCнB

6.4.1 Механические свойства консолидированных образцов SiC-TaSi2-SiCнв

6.5 Горячее прессование керамик из порошков SiC-TaSi2-Cволокно-SiCнв

6.5.1 Механические свойства керамик из порошков SiC-TaSi2-CBолоKн0-SiCнв

ГЛАВА 7. АППРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ

РАБОТЫ

7.1 Получение двухслойных мишеней-катодов для магнетронного напыления высокотемпературных трибологических покрытий

7.2 Магнетронное напыление и исследование высокотемпературных трибологических покрытий

7.3 Трибологические свойства при комнатной и повышенных температурах для покрытий, нанесенных с использованием многокомпонентных двухслойных мишеней-катодов Та-БьС/Мо

7.4 Оценка стойкости к окислению для покрытий, нанесенных с использованием многокомпонентных двухслойных мишеней-катодов Та-Бь С/Мо

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ А: Ноу-хау «Состав и способ получения керамики на боридной, карбидной и силицидной основе, стойкой к динамическому воздействию высокотемпературного газового потока»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б: ТУ «Композиционные керамические мишени-катоды на основе силицида тантала и карбида кремния для ионно-плазменного осаждения многокомпонентных высокотемпературных покрытий»

ПРИЛОЖЕНИЕ В: Акт изготовления опытной партии двухслойных мишеней-катодов TaSi2-SiC

ПРИЛОЖЕНИЕ Г: Акт испытаний двухслойных мишеней-катодов TaSi2-SiC