Капланский Юрий Юрьевич Получение узкофракционных сферических порошков жаропрочных сплавов на основе алюминида никеля и их применение в технологии селективного лазерного сплавления

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

кандидат наук Капланский Юрий Юрьевич

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Свойства моноалюминида никеля МЛ!

1.2 Способы модифицирования структуры для повышения свойств №А1

1.2.1 Управление структурой сплавов

1.2.2 Влияние легирующих добавок на структуру и свойства сплавов

1.3 Особенности структуры и термомеханические свойства перспективных жаропрочных сплавов на основе алюминида никеля №Л1

1.4 Механизмы высокотемпературной ползучести дисперсионно-твердеющих сплавов

1.4.1 Напряжение Орована

1.4.2 Переползание дислокаций

1.4.3 Межфазное упрочнение

1.4.4 Упрочнение за счет когерентности выделений

1.4.5 Упрочнение за счет рассогласованности модулей

1.4.6 Упрочнения за счет образования дефекта упаковки

1.4.7 Упрочнение порядка

1.5 Способы получения порошков из сплавов на основе №А1

1.5.1 Распыление расплавов (газовая атомизация)

1.5.2 Плазменное центробежное распыление

1.5.3 Плазменная сфероидизация порошков

1.6 Аддитивные производственные технологии получения изделий сложной геометрии

1.6.1 Селективное лазерное сплавление

1.6.2 Влияние параметров СЛС на микроструктуру, остаточные напряжения и свойства консолидированных материалов

1.6.3 Анизотропия структуры и свойств СЛС- изделий

1.7 Выводы по литературному обзору и постановка задач диссертационной работы

ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Исходные материалы

2.2 Центробежное СВС- литье

2.3 Выплавка электродов

2.4 Плазменное центробежное распыление

2.5 Магнитная сепарация и классификация распыленных порошков

2.6 Механическое активирование компонентов реакционной смеси

2.7 Формование реакционной смеси

2.8 СВС из элементов

2.9 Измельчение спеков

2.10 Воздушная классификация порошков

2.11 Плазменная сфероидизация порошка

2.12 Горячее изостатическое прессование

2.13 Селективное лазерное сплавление

2.14 Исследование гранулометрического состава порошка

2.15 Измерение текучести и насыпной плотности

2.16 Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

2.17 Определение содержания примесей кислорода и азота

2.18 Сканирующая электронная микроскопия

2.19 Просвечивающая электронная микроскопия

2.20 Изготовление тонких фольг

2.21 Рентгеноструктурный фазовый анализ

2.22 Определение теплофизических свойств

2.23 Определение пористости

2.24 Компьютерная томография

2.25 Измерительное индентирование

2.26 Термомеханические испытания

ГЛАВА 3. ПЛАЗМЕННОЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ПОРОШКОВ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА СОНОВЕ №Л1 И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ ГИП И СЛС

3.1 Сплав Сошро№Л1-М5-3

3.1.1 Структура и свойства интерметаллидных порошков, полученных центробежным плазменным распылением

3.1.2 Структура и свойства сплава, полученного с помощью ГИП и СЛС. Влияние термической обработки на структуру и свойства

3.1.3 Термомеханические свойства ГИП образцов

3.1.5 1п-вки исследования эволюции микроструктуры при нагреве СЛС образцов

3.2 Сплав №27Бег6А132СпоСо5

3.2.1 Структура и свойства композиционных порошков, полученных центробежным плазменным распылением

3.2.2 Структура и свойства сплава, полученного с помощью ГИП композиционных порошков

3.2.3 Влияние закалки и старения на структуру и механические свойства сплава, полученного с помощью ГИП

3.2.4 Влияние термообработки на термомеханические свойства ГИП образцов

3.2.5 Поведение сплава при деформации ползучести

3.2.6 ПЭМ исследования дислокационной структуры сплава после испытаний на высокотемпературную ползучесть

3.2.7 Оптимизация технологических режимов СЛС применительно к композиционным порошкам №27Ее26А1э2СпоСо5

3.2.8 Влияние старения на эволюцию структуры и механических свойств СЛС- образцов

3.2.9 ¡п-Б^и исследования эволюции микроструктуры СЛС образцов при нагреве

3.3 Выводы по главе

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МА СВС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА Сошро№А1-М5-3

4.1 Поиск оптимального режима МА многокомпонентной реакционной смеси порошков для снижения масштаба гетерогенности и роста однородности продуктов синтеза

4.1.1 Изучение распределения элементов в МА реакционных смесях

4.1.2 Изучение структурной и химической однородности продуктов МА СВС

4.2 Получение, структура, состав и свойства микропорошков сплава Сошро№А1-М5-3

4.3 Выводы по главе

ГЛАВА 5 ПЛАЗМЕННАЯ СФЕРОИДИЗАЦИЯ УЗКОФРАКЦИОННОГО СВС-ПОРОШКА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА Сошро№А1-М5-3

5.1 Оптимизация параметров плазменной сфероидизации микропорошка

5.2 Состав и микроструктура сфероидизированного порошка

5.3 ¡п-Б^и исследования эволюции структуры сфероидизированного микропорошка при нагреве методами ПЭМ

5.4 Выводы по главе

ГЛАВА 6. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВА Сошро№А1-М5-3, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ГИП СФЕРОИДИЗИРОВАННОГО МИКРОПОРОШКА

6.1 Исследование влияния температуры ГИП на микроструктуру, пористость и механические свойства консолидированных образцов

6.2 Структурные особенности консолидированных образцов сплава №41Л141Сп2Со6

6.3 1п-8ки исследования методами ПЭМ структурно-фазовых превращений в жаропрочном сплаве Сошро№А1-М5-3 при нагреве

6.4 Теплофизические и термомеханические свойства сплава Сошро№А1-М5-3 в сравнении с 1псопе1

6.5 Выводы по главе

ГЛАВА 7 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СЛС МОДЕЛЕЙ РОТОРНОЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ИЗ СФЕРОИДИЗИРОВАННОГО СВС- ПОРОШКА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА №41А141Сп2Со6

7.1 Влияние параметров лазерного сканирования и объемной плотности энергии лазера на пористость и микроструктуру компактного материала

7.2 Лазерный синтез моделей роторной лопатки турбины высокого давления

7.3 Влияние старения и ГИП на структуру и свойства СЛС- моделей роторной лопатки турбины

7.3.1 Характеристики структуры

7.3.2 Термомеханическое поведение

7.4 Выводы по главе

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ А ТИ 48-11301236-2019 на процесс изготовления узкофракционных СВС-порошков

из сплавов на основе моноалюминида никеля

ПРИЛОЖЕНИЕ Б ТУ 24.45.30-041-11301236-2020 «Узкофракционные СВС-порошки из

жаропрочных сплавов на основе моноалюминида никеля»

ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт изготовления сферических микропорошков жаропрочных сплавов на основе алюминида никеля - заготовок для получения экспериментальных образцов деталей сложной формы

с использованием аддитивных производственных технологий

ПРИЛОЖЕНИЕ Г ТИ 08-367-2018 на процесс изготовления узкофракционного металлического сферического микропорошка жаропрочного сплава на основе алюминида никеля по схеме элементного синтеза при использовании промышленной установки плазменной сфероидизации металлических порошков

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Патент РФ № 2681022 «Способ получения узкофракционных сферических

порошков из жаропрочных сплавов на основе алюминида никеля»

ПРИЛОЖЕНИЕ Е Ноу-хау «Технологический процесс изготовления методом селективного лазерного плавления (СЛП) изделий сложной формы из узкофракционных сферических порошков

жаропрочного никелевого сплава на основе моноалюминида никеля»

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Акт о проведении испытаний моделей роторной лопатки №

ПРИЛОЖЕНИЕ И XXI Московский международный Салон изобретений и инноваций «Архимед-2018» Золотая медаль НИТУ МИСиС за разработку «Способ получения электродов из сплавов на основе алюминида никеля»