

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Маркова Георгия Михайловича на тему: «Получение новых порошковых жаропрочных сплавов на основе алюминидов титана и их применение в технологии селективного лазерного сплавления», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук, специальность 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 18 декабря 2024 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 9 сентября 2024 г., протокол №22.

Диссертация выполнена в Научно-учебном центре самораспространяющегося высокотемпературного синтеза МИСИС-ИСМАН (НУЦ СВС) и на кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС.

Научный руководитель – Логинов Павел Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий, старший научный сотрудник лаборатории «In-situ диагностика структурных превращений» НУЦ СВС, НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 22 от 9.09.2024 г.) в составе:

1. Штанский Дмитрий Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Научно-учебного центра СВС МИСИС-ИСМАН (НУЦ СВС), заведующий Научно-исследовательского центра «Неорганические наноматериалы», профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС - председатель комиссии;

2. Еремеева Жанна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС;

3. Серов Михаил Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «1101-Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

4. Петржик Михаил Иванович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «In-situ» диагностика структурных превращений» НУЦ СВС, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий, НИТУ МИСИС;

5. Курганова Юлия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение», «Московский государственный технический университет имени

Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, г. Черноголовка.

**Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработана научная концепция** о возможности получения новых жаропрочных сплавов на основе  $TiAl/Ti_3Al$  сочетанием методов высокоэнергетической механической обработки (ВЭМО) реакционной смеси  $Ti-Al-Nb-Mo-V$ , самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), плазменной сфероидизации СВС-порошка, селективного лазерного сплавления (СЛС), горячего изостатического прессования (ГИП) и термической обработки (ТО), позволившая выявить качественно новые закономерности фазо- и структурообразования сплавов на всех этапах получения, обеспечивающих высокий уровень их механических свойств и жаростойкости.

**доказана перспективность** практического использования жаропрочного сплава на основе алюминидов титана ( $Ti-Ni-V+Y_2O_3$ ) в качестве материала кольцевых мишеней-катодов, что расширяет границы применимости сплава в технологии магнетронного напыления. Полученные мишени-катоды соответствуют требованиям по химическому составу, геометрическим размерам и рекомендованы к применению в АО «Композит».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**экспериментально доказаны положения** о том, что частичное замещение в реакционной смеси титана его гидридом приводит к модифицированию структуры продуктов синтеза и снижению содержания примесного кислорода с 0,65 % до 0,4 %, что обусловлено созданием восстановительной атмосферы в результате дегидрирования  $TiH_2$  в процессе СВС.

**изложены факторы** положительного влияния легирующей добавки оксида иттрия  $Y_2O_3$  на жаростойкость сплава  $Ti-Ni-V$ , обусловленного выделением на границах зерен в окисленном слое дисперсной фазы  $Y_2Ti_2O_7$ , препятствующей зернограничной диффузии кислорода и образованию рутила  $TiO_2$  в объеме сплава.

**выявлены особенности** деформационного поведения сплава  $Ti-Ni-V+Y_2O_3$  в интервале температур  $T=800-1100$  °С. Установлено, что механизм деформации сплава с глобулярной структурой в интервале  $T=800-900$  °С определяется переползанием дислокаций, а при  $T=1000-1100$  °С - скольжением дислокаций. Для сплава с ламеллярной структурой, полученной в результате постобработки (ГИП+ТО), процесс деформации во всем интервале температур (800–1100 °С) контролируется переползанием дислокаций, что

объясняет высокий уровень механических свойств сплава:  $\sigma_{\text{в}}^{\text{сж}}=1587$  МПа,  $\sigma_{0,2}=1171$  МПа,  $\varepsilon = 9\pm 1\%$  при комнатной температуре и  $\sigma_{\text{в}}^{\text{сж}}=1231$  МПа,  $\sigma_{0,2}=573$  МПа,  $\varepsilon = 36,3 \%$  при  $T=800$  °С.

**Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:**

- в депозитарии НИТУ МИСИС зарегистрировано ноу-хау № 03-732-2024 ОИС от 27.03.2024 г. «Состав жаропрочного сплава на основе алюминидов титана и способ получения узкофракционного порошка сочетанием методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из элементов и плазменной сфероидизации», номер государственного учета 624052700021-9 от 05.07.2024.

- разработана технологическая инструкция ТИ 61-11301236-2023 на процесс получения узкофракционных сферических СВС-порошков из сплавов на основе алюминидов титана, в соответствии с которой изготовлена опытная партия сферического порошка из сплава TNM-B1+ Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- из полученного порошка методом СЛС изготовлены модельные образцы типа «крыльчатка» с плотной литой структурой и соответствием геометрии изделия цифровой 3D-модели. Методом горячего прессования изготовлены кольцевые мишени-катоды для магнетронного напыления, которые рекомендованы к применению в АО «Композит».

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

для экспериментальных исследований использовано современное технологическое и аналитическое оборудование. Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается использованием статистических методов обработки, а также сопоставлением полученных результатов с работами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической литературы по теме исследования, получении и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов исследований. Обсуждение и интерпретация полученных результатов проводились совместно с научным руководителем и соавторами публикаций. Основные положения, научная новизна, практическая значимость и выводы диссертационной работы сформулированы совместно с научным руководителем.

По материалам диссертации имеется 17 публикаций, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus, Web of

Science, а также 1 «Ноу-хау». Результаты диссертационной работы Маркова Г.М. обсуждались на 11 международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Маркова Георгия Михайловича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней, на основании выполненных автором исследований, разработаны новые научно-обоснованные технические и технологические решения получения сферических порошков новых жаропрочных сплавов на основе алюминидов титана, применяемых в технологии селективного лазерного сплавления, а также получения жаропрочных композиционных материалов из них для развития авиации и ракетно-космической отрасли страны.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Маркову Георгию Михайловичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовали: за 4, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



Штанский Д.В.

18.12.2024