

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Баскова Федора Алексеевича на тему: «Разработка технологии селективного лазерного сплавления сложнопрофильных изделий из жаропрочных никелевых сплавов с интерметаллидным упрочнением», представленной на соискание ученой степени по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 26 октября 2022 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 27 июня 2022 года, протокол №3.

Диссертация выполнена на кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Левашов Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС», директор Научно-учебного центра СВС НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 3 от 27.06.2022) в составе:

1. Громов Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Катализ и переработка углеводородов», НИТУ «МИСиС» - председатель;

2. Штанский Дмитрий Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН, заведующий НИЛ «Неорганические наноматериалы», профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий, НИТУ «МИСиС»;

3. Еремеева Жанна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС»;

4. Ножкина Алла Викторовна, доктор технических наук, профессор, научный руководитель лаборатории №1 «Исследование алмазов, синтеза сверхтвердых материалов и оценки соответствия изделий из них» АО ВНИИАЛМАЗ, г. Москва;

5. Шляпин Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов», «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция о возможности изготовления сложнопрофильных изделий из высоколегированных жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП и АЖК путем комбинации селективного лазерного сплавления (СЛС), горячего изостатического прессования (ГИП) и термической обработки (ТО), позволившая выявить качественно новые закономерности фазо- и структурообразования дисперсных и упрочняющих фаз на каждой стадии обработки, что позволяет значительно увеличить их прочностные характеристики при комнатной и повышенных температурах;

предложены оригинальные суждения о достижении значительного увеличения механических свойств СЛС-сплавов ЭП741НП и АЖК после ГИП и ТО за счет равномерного выделения мелкодисперсной упрочняющей γ' -фазы (менее 0,3 мкм), карбидов (Ti,W)C, (Nb,Ti)C, Cr₂₃C₆, Cr₂₁(Mo,W)₂C₆ внутри и на границе зерен, которые создают дополнительное сопротивление движению трещин, способствуя изменению направления их распространения;

разработана новая экспериментальная методика параметрических исследований для выявления режимов и условий СЛС для высоколегированного жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП и свариваемого сплава АЖК, обеспечивающих формирование структуры с наименьшим количеством некритических дефектов.

доказана перспективность практического использования комбинированной технологии СЛС–ГИП–ТО для изготовления деталей типа «крыльчатка» из сплава ЭП741НП и типа «эжектор» из сплава АЖК (акт об изготовлении от 23.08.2021 № 011-533 и акт испытаний в АО «Композит» от 17.11.2021 № 0111-923).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о том, что из-за высоких скоростей охлаждения в процессе СЛС происходит формирование столбчатых зерен из-за эпитаксиального механизма роста, неустойчивых фаз Лавеса, высоких остаточных напряжений и подавляется образование упрочняющих фаз в зернах γ -фазы, приводящих к зарождению микротрещин и снижению потенциально возможных свойств сплавов ЭП741НП и АЖК;

изложены условия модифицирования СЛС-сплавов, в результате которых происходит устранение характерной структуры образцов (границы ванны расплава, лазерные треки), формирование ярко выраженной зеренной структуры, выделение мелкодисперсной γ' -фазы кубической морфологии размером 100-300 нм, карбидных фаз

(Ti, W) C, (Nb,Ti)C в теле зерна γ -фазы и карбидов Cr_{23}C_6 и $\text{Cr}_{21}(\text{Mo},\text{W})_2\text{C}_6$ на их границе;

Методом ПЭМ высокого разрешения при in-situ наблюдениях за процессами деформации и разрешением **установлено**, что достижение высоких механических свойств при комнатной и повышенных температурах обусловлено формированием в процессе ТО (закалка-старение) иерархической структуры, в которой субмикронные и наноразмерные выделения избыточных фаз создают дополнительное сопротивление движению дислокаций, изменяя направление распространения трещин;

выявлены особенности формирования структуры СЛС- сплавов ЭП741НП и АЖК с наименьшим количеством дефектов: на макроуровне наблюдаются границы ванн расплава и анизотропия структуры (столбчатые зерна ориентированы в направлении преимущественного теплоотвода перпендикулярно плите построения); на микроуровне – колонии со-направленных первичных осей дендритов, в междендритном пространстве которых формируются фазы Лавеса Cr_2Nb , Co_2Nb , Cr_2Hf . Низкие значения прочности СЛС-сплавов обусловлены высокими скоростями охлаждения расплава и подавлением процесса формирования γ' -фазы. Комбинированная постобработка СЛС-изделий, сочетающая ГИП и ТО по типу закалка + старение, обеспечивает значительное увеличение механических свойств, превышая паспортные значения свойств для данных сплавов, полученных по технологии гранульной металлургии;

применительно к проблематике диссертации результативно с получением обладающих новизной результатов **использован комплекс** инструментальных методов исследования (оптическая, сканирующая и просвечивающая микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ).

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

Приказом № 0708-01 от 8 июля 2019 г. в АО «Композит» зарегистрировано ноу-хау «Комбинированная технология изготовления объемных заготовок деталей сложной формы из титановых, жаропрочных никелевых сплавов и сплава на основе алюминидов титана для изделий РКТ», составной частью которого является комплексная технология изготовления деталей из ЖНС, включающая СЛС, ГИП и ТО.

Разработана технологическая инструкция ТИ ЛДВТ.251514.1387 на процесс изготовления макетных образцов деталей типа «крыльчатка» и типа «эжектор» методом селективного лазерного сплавления из порошков жаропрочных никелевых сплавов.

Разработаны и зарегистрированы технические условия ТУ 24.45.21-956-56897835-2022 «Материал из никелевого сплава марки ЭП741НП, изготовленный методом селективного лазерного сплавления» и ТУ 24.45.21-957-56897835-2022 «Материал из

никелевого сплава марки АЖК, изготовленный методом селективного лазерного сплавления».

Осуществлена апробация энергоэффективной технологии получения макетных образцов деталей типа «крыльчатка» из сплава ЭП741НП и деталей типа «эжектор» из сплава АЖК методом СЛС с последующей постобработкой. Установлено, что образцы деталей полностью соответствуют исходной 3D-модели и не содержат критических внутренних дефектов в виде трещин и несплавлений. По механическим свойствам материалы превосходят аналоги, полученные по традиционным технологиям (литье, гранульная металлургия).

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

Для экспериментальных исследований использовано передовое аналитическое оборудование. Оценка полученных результатов произведена с использованием статистических показателей. Идея работы базируется на анализе общемирового опыта в области теории и практики производства изделий методом аддитивных технологий.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической информации по теме исследования, в получении и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов. Обсуждение и интерпретация полученных результатов, формулировка основных положений, научной новизны, практической значимости и выводов диссертационной работы производилась совместно с научным руководителем и соавторами научных публикаций.

Соискатель представил 3 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus, Web of Science, 12 тезисов докладов в сборниках трудов международных научных конференций и 1 «Ноу-хау».

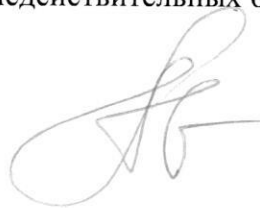
Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Баскова Федора Алексеевича 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 задачи изготовления сложнопрофильных деталей из жаропрочных никелевых сплавов для авиации и ракетно-космической отрасли

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Баскову Федору Алексеевичу 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 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



А.А. Громов

26.10.2022