

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Рогалева Алексея Михайловича

«Формирование структуры и физико-механических свойств синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение

Актуальность темы диссертации

Современное развитие авиационной и ракетно-космической отраслей характеризуется постоянно возрастающими требованиями к эксплуатационным характеристикам конструкционных материалов, работающих в экстремальных условиях. Ключевыми критериями для перспективных материалов являются стабильность механических характеристик, коррозионная стойкость, высокие показатели жаропрочности и жаростойкости. В этой связи технологии аддитивного производства, и, в частности, метод селективного лазерного сплавления (СЛС), предоставляют новые возможности для создания сложнопрофильных деталей с высоким комплексом свойств.

Жаропрочный никелевый сплав ЭП648 (ВХ4А) широко применяется в производстве критически важных деталей газотурбинных двигателей. Однако изготовление этих деталей методами литья сопряжено с технологическими трудностями, низким выходом годной продукции и ограничениями по сложности геометрии. Таким образом, задача исследования влияния параметров СЛС на структуру и свойства синтезированного материала сплава ЭП648, а также разработка на этой основе эффективных технологий получения сложнопрофильных деталей, является актуальной и имеет высокую научно-практическую значимость для отечественного двигателестроения.

Обоснованность научных положений и выводов

Диссертантом проведен анализ современного состояния проблемы, отраженный в объемном литературном обзоре, охватывающем основные

тенденции развития технологий аддитивного производства, сравнительный анализ методов изготовления изделий из металлических порошков, а также примеры успешной реализации этих технологий ведущими зарубежными компаниями.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, основаны на результатах комплекса спланированных и выполненных экспериментальных исследований. Автором исследовано влияние широкого спектра технологических параметров СЛС (мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя, стратегия штриховки, фракционный состав порошка, защитная среда) на плотность, макро- и микроструктуру, фазовый состав, шероховатость поверхности и механические свойства синтезированного материала.

Обоснованность выводов подтверждается:

- Применением современных и аттестованных методов исследования (рентгеноструктурный анализ, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, энергодисперсионная спектроскопия, механические испытания при комнатной и повышенных температурах).
- Сочетанием взаимодополняющих методик для оценки одних и тех же характеристик (например, оценка пористости металлографическим и гидростатическим методами).
- Статистической обработкой экспериментальных данных.

Выводы работы базируются на представленных экспериментальных данных и корректно интерпретированы в рамках современных теорий материаловедения, порошковой металлургии и процессов, характерных для СЛС.

Научная новизна работы

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

- Впервые выявлено формирование наноразмерных нитридов хрома в структуре сплава ЭП648, изготовленного при СЛС в среде азота и последующими горячем изостатическим прессованием и термической обработки.

- Установлена критическая концентрация кислорода (не более 150 ppm), превышение которой приводит к увеличению доли микротрещин в материале после СЛС.
- Определены зависимости характеристик формируемых верхних и нижних поверхностей деталей (UpSkin и DownSkin) от параметров СЛС (плотности энергии и скорости сканирования).

Полученные результаты вносят значительный вклад в развитие научных основ аддитивного производства никелевых жаропрочных сплавов.

Практическая значимость работы

Практическая значимость результатов работы подтверждена их успешным внедрением и заключается в следующем:

1. Разработаны и переданы в серийное производство технологии изготовления ответственных деталей:
 - «Завихритель» для авиационных двигателей ПД-8 и ПД-14 на АО «ОДК-Авиадвигатель».
 - «Корпус агрегата наддува» для жидкостного ракетного двигателя РД-191М на АО «НПО Энергомаш».
2. Внедрение разработанных технологий позволило добиться существенного технологического эффекта: сокращение количества деталей в сборочных единицах (с 27 до 3 для агрегата наддува), исключение паяных соединений, снижение массы (с 70 до 11,5 кг для агрегата наддува), сокращение сроков и трудоемкости изготовления.
3. Разработанные рекомендации по контролю содержания кислорода и оптимизации параметров СЛС позволяют существенно повысить качество синтезированных материалов. Полученные результаты могут быть использованы при создании новых отечественных жаропрочных порошков и при разработке нормативных требований к порошковым материалам для аддитивного производства.

Замечания

1. В разделе 3.5, научной новизне, положениях, выносимых на защиту, выводах отмечено критическое значение содержания кислорода на образование

- микротрещин. Как считаете, в чем заключается механизм воздействия кислорода на зарождение/появление трещин?
2. Схема представленная на рис.3.5 не совсем корректна, она отражает стандартный шаблон сканирования внутренних площадей и боковых поверхностей, тогда как в программном обеспечении имеются отдельные настройки для верхних и нижних поверхностей (UpSkin и DownSkin) для которых проводилось измерение шероховатости.
 3. В разделе 3.3.3 приводятся значения плотности энергии, но в размерности Дж/мм², тогда как ранее и в указанном в разделе 3.3.1 уравнении (1) вычисления объемной плотности энергии СЛС измеряется в Дж/мм³. Так по какому уравнению производится вычисление плотности энергии на контуре для оценки ее влияния на качество поверхности?
 4. Не везде показано в какой среде (азот или аргон) образцы были изготовлены. Например, в разделе 4.2 только одна таблица которая четко демонстрирует различия свойств от инертной среды, по другим данным остается неопределенность.
 5. В научной новизне и выводах утверждается положительное влияние нитридов на сопротивление ползучести, однако данных по измерению ползучести не приведено.
 6. На рис. 4.8 представлены кривые длительной прочности. Возникает вопрос: почему экспериментальные точки нанесены четко по времени (100 ч, 500 ч), а не группируются по нагрузке?

Указанные замечания не снижают ценность и положительную оценку представленной научной работы.

Заключение

Диссертационная работа Рогалева Алексея Михайловича является качественной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача — установлены закономерности формирования структуры и физико-механических свойств никелевого жаропрочного сплава ЭП648 при селективном лазерном сплавлении и последующих обработках. Высокая практическая значимость работы обусловлена внедрением

разработанных технологий в серийное производство.

Считаю, что диссертационная работа «Формирование структуры и физико-механических свойств синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует пунктам п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней» (постановление правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.). По актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности сформулированных выводов диссертация соответствует научной специальности 2.6.17. Материаловедение, а ее автор, Рогалев Алексей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

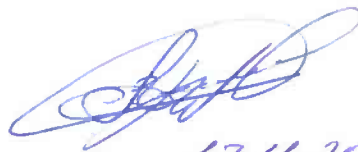
Официальный оппонент

Суфияров Вадим Шамилевич,

кандидат технических наук, доцент, доцент

Научно-образовательного центра

"Конструкционные и функциональные материалы"



17.11.2025

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое, ул. Политехническая, д.29 литера Б
e-mail: sufiyarov_vsh@spbstu.ru, телефон: +7 (905) 226-76-15

