

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертационную работу

Рашковец Марии Владимировны

«Структура и свойства никелевых сплавов, полученных по аддитивной технологии с использованием метода прямого лазерного выращивания»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность темы диссертационной работы

Вопросам изучения современных аддитивных технологий, позволяющих получать детали со сложным профилем, уделяется все больше внимания как со стороны производственных коллективов, так и научных сообществ. Интерес обозначен возможностью сократить классические многооперационные процессы производства деталей со сложной геометрией на одну технологическую операцию с использованием аддитивных технологий, так как в процессе выращивания изделия не требуется дополнительных инструментов или оснастки, а при переходе к изделию другой геометрии не требуется замены или долгой переналадки оборудования.

Интерес к никелевым сплавам обусловлен сложным структурным состоянием, позволяющим контролировать механические свойства в широком диапазоне. Несмотря на их активное изучение многочисленными научными коллективами, в том числе в области аддитивных технологий, все еще существует ряд проблем и задач, решение которых является актуальными на данном этапе развития. В своей работе Рашковец М.В. обращает внимание на никелевые сплавы трех различных систем легирования и подробно рассматривает влияние технологических режимов аддитивной установки прямого лазерного выращивания на структуру и фазовый состав сформированных материалов. Результаты проведенных в работе структурно-фазовых исследований также соотнесены с механическими свойствами полученных заготовок.

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Рашковец М.В. является **актуальной**, а изложенные в ней подробные результаты представляются важными как с **практической**, так и с **научной** точки зрения.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационное исследование изложено на 164 страницах и состоит из введения, 6 глав, заключения и 2 приложений. Работа включает 77 рисунков, 8 таблиц и 247 научно-технических источников в списке литературы.

Во введении приведены цель и задачи диссертационной работы, отражены актуальность, новизна и значимость выполненного исследования как с практической, так и научной точек зрения, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации представлен литературный обзор, который подробно отражает состояние исследований в области никелевых сплавов с подробным описанием их структурных составляющих, а также классических методов их получения. Кроме того, в главе рассмотрены типы аддитивных процессов для производства деталей из металлического сырья, а также проблемы, возникающие при производстве никелевых сплавов, как с применением аддитивных технологий, так и классических процессов.

Во второй главе работы подробно описан аддитивный процесс прямого лазерного выращивания и отражены используемые технологические режимы. Изложены методы анализа структуры, фазового состава и комплекса механических свойств сформированных никелевых сплавов, а также этапы пробоподготовки для проведения отмеченных исследований.

В третьей главе работы соискателем показана зависимость между параметрами используемых технологических режимов и зеренной структурой никелевых сплавов, формируемой при аддитивном процессе прямого лазерного выращивания. Для объяснения отмеченной зависимости были использованы метод численного моделирования температурных полей и результаты оптической и электронной микроскопии.

В четвертой главе работы на основе сопоставления рентгенофазового анализа и методов электронной микроскопии подробно описаны результаты фазовых исследований, происходящих при послойном формировании никелевых сплавов трех различных систем Ni-Cr-Mo, Ni-Co-Cr и Ni-Fe-Cr.

Пятая глава диссертационной работы посвящена анализу механических свойств (статическое, динамическое, циклическое нагружения) никелевых сплавов, полученных аддитивным методом прямого лазерного выращивания. Объяснена зависимость полученных результатов механических испытаний от формируемой в процессе реализации аддитивной технологии структуры сплавов.

В шестой главе диссертации представлена практическая ценность проведенных в работе исследований. Приложение А отражает результаты

апробации исследованных режимов. В Приложении Б показано применение результатов исследования в учебном процессе на кафедре материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета.

Заключение содержит основные выводы по диссертационной работе.

Список литературы насчитывает 247 проанализированных профильных научно-технических отечественных и зарубежных источников.

Оценка содержания диссертационной работы.

Текст диссертационной работы и автореферата, сформулированные **общие положения и выводы**, а также опубликованные автором работы по теме диссертационного исследования **логичны, достоверны и вытекают из полученных экспериментальных данных**. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Научная новизна. С применением методов просвечивающей электронной микроскопии соискателем был проведен анализ тонкого строения сформированных аддитивным методом прямого лазерного выращивания никелевых сплавов на основе систем Ni-Cr-Mo, Ni-Co-Cr и Ni-Fe-Cr. Это позволило установить зависимость между применяемыми технологическими режимами и формирующейся морфологией упрочняющей Ni₃Al фазы в дисперсионно упрочняемом сплаве Ni-Co-Cr, а также показало начало выделения Ni₃Al фазы в сплаве Ni-Fe-Cr в ходе аддитивного процесса и ее окончательное выделение с применением дополнительной термической обработки. Кроме того, автор работы установила границы технологических параметров, позволяющие формировать определенное зеренное строение никелевых сплавов, например, для формирования минимально разориентированных столбчатых дендритов в структуре никелевых сплавов Ni-Cr-Mo и Ni-Co-Cr необходимо использовать шаг единичного слоя 0,04 мм с минимальным уровнем эффективной энергии 32 Дж/мм².

Достоверность научных положений и выводов. В диссертационном исследовании применялось современное и высокоточное оборудование, что является гарантом достоверности полученных результатов. Рашковец М.В. провела глубокий анализ литературных данных. Приведенные работе экспериментальные данные не противоречат результатам других исследователей и во многом их дополняют. Кроме того, соискатель неоднократно докладывала результаты исследований на международных конференциях и профильных семинарах. По результатам исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 2 публикации, входящие в

перечень журналов, рекомендованных ВАК, а также 8 работ, представленных в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus.

Научной значимостью настоящей работы является расширение представлений о комплексных фазовых состояниях никелевых сплавов на основе систем Ni-Cr-Mo, Ni-Co-Cr и Ni-Fe-Cr, сформированных аддитивным методом. Полученные соискателем результаты подробного структурно-фазового анализа на различных масштабных уровнях позволяют существенно улучшить понимание фазовых преобразований, происходящих как при аддитивном процессе прямого лазерного выращивания, так и при дополнительной термической обработке послойно сформированного материала. Кроме того, проанализированная совокупность результатов структурно-фазовых исследований и механических испытаний наглядно отражает влияние формируемых структур на комплекс механических свойств материалов, полученных аддитивными методами.

Практическую ценность имеют результаты зависимости зеренного строения никелевых сплавов от применяемых технологических режимов аддитивной установки прямого лазерного выращивания, которые позволяют контролировать формирование необходимой для поставленной задачи структуры в соответствии с применяемым диапазоном параметров. Эффективность полученных результатов подтверждена актом их внедрения на базе Института теоретической и прикладной механики СО РАН. Результаты работы также используются в учебном процессе механико-технологического факультета Новосибирского государственного технического университета при проведении практических и лекционных занятий.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Не указаны геометрические размеры наплавляемых слоев. При этом отмечается, что имеет место накопление тепла в сплаве от повторного прохождения источника нагрева. Можно ли ожидать, что изменение геометрических размеров в плоскости наплавки повлияет на значения температуры, до которой успевает остыть предыдущий слой, и, соответственно, на формируемую структуру?

2. Для чего была поставлена задача оценки структурно-фазового состояния порошкового материала? В диссертационной работе упомянуто, что «методом рентгенофазового анализа установлено, доминирующей фазой исходных никелевых порошков всех систем является твердый раствор на

основе никеля», однако не приведены соответствующие дифрактограммы. Также непонятно, есть ли другие не доминирующие фазы.

3. В работе говорится «о существенном влиянии ... высоты (шага) наплавленного слоя на структуру», однако для каждого из трех исследуемых материалов использовался только один шаг, он не варьировался для одного и того же материала.

4. В сплаве системы Ni-Fe-Cr формируются карбонитриды. Откуда берется азот на их формирование при его отсутствии в составе сплава?

5. В работе показано, что «результатом термической обработки [сплава системы Ni-Fe-Cr] является двукратное увеличение прочностных характеристик и повышение в 1,5 раза ударной вязкости». Означает ли это, что рекомендуется применять термическую обработку после формирования изделий из этого сплава аддитивной технологией?

6. Получение исследуемых в работе образцов аддитивным методом проведено на установке, оснащенной лазером ЛС-3, который является иттербиевым лазером. При этом апробация результатов проводилась на комплексе, оснащенный СО2 лазером. Была ли учтена разная длины волны и, соответственно, разная поглощательная способность материалами лазерного излучения? Корректировались ли в связи с этим технологические параметры аддитивного процесса?

Отмеченные отдельные замечания не изменяют безусловно положительной оценку диссертационной работы и не снижают ее научную и практическую ценность.

Общее заключение по диссертационной работе

Представленная к защите диссертационная работа Рашковец М.В. «Структура и свойства никелевых сплавов, полученных по аддитивной технологии с использованием метода прямого лазерного выращивания» обладает достаточным объемом, безусловной актуальностью исследований, новизной результатов и их достоверностью, научной и практической значимостью и в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства 842 от 24 сентября 2013 г.), **что делает настоящую диссертацию законченной научно-квалификационной работой.**

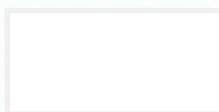
Новые научно обоснованные результаты представленного диссертационного исследования имеют существенное значение для развития страны и вне сомнений будут полезны в практическом применении при внедрении аддитивных технологий в отечественную промышленность для изготовления деталей со сложной геометрией из никелевых сплавов.

По своему содержанию представленная к защите диссертационная работа соответствует пунктам 1, 2, 5 научной специальности 2.6.17 – Материаловедение (в соответствии с предыдущей редакцией номенклатуры паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)).

На основании вышеизложенного, автор диссертационной работы Рашковец Мария Владимировна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Официальный оппонент:

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник
лаборатории конструкционного
материаловедения,
кандидат технических наук



Соболева Наталья Николаевна

10.06.2022

Даю свое согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело Рашковец М.В.

Контактная информация:

Организация. Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук. **Сокращенное наименование:** ИМАШ УрО РАН.

Адрес: 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Телефон: +7 (343) 362-30-33

E-mail: natashasoboleva@list.ru

Должность: старший научный сотрудник лаборатории конструкционного материаловедения

Ф.И.О.: Соболева Наталья Николаевна.

Подпись Соболевой Натал

Заместитель директора ИМ

к.т.н.

10.06.2022



И.С. Каманцев

Презентуется в совет 14.06.2022
С отзывом ознакомлена 16.06.2022
Рашковец М.В.