



Акционерное общество
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspace.ru, www.laspace.ru

Экз. № _____

Ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.332.01
при ФГБОУ ВО «Московский
государственный технологический
университет «СТАНКИН»
к.т.н. Е.С. Сотовой
127994, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скоробогатову Андрею Евгеньевичу
«Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с
использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.5– «Технология и оборудование механической и физико-
технической обработки».

Тема диссертации актуальна и обусловлена потребностью в
повышении эксплуатационных характеристик работающих при высоких
температурах биметаллических деталей и покрытий из порошков

молибдена и его сплавов методами аддитивных технологий, в частности, коаксиальной лазерной наплавкой.

Коаксиальная наплавка применяется при лазерной наплавке при выращивании изделий аддитивного производства и обеспечивает равномерное формирование валиков, а также повышенный коэффициент использования расходного присадочного материала. Метод подходит для нанесения специальных покрытий на материал основы, создавая биметаллические детали и является альтернативой методу диффузионной вакуумной пайки. В частности, коаксиальная лазерная наплавка может применяться для выполнения молибденового покрытия на основе из углеродистой стали, что позволяет повысить эксплуатационные характеристики при высоких температурах. Однако, в настоящее время затруднительно на литых заготовках из конструкционных сталей получить функциональные молибденовые покрытия при их толщине более 2 мм с высокой плотностью и отсутствием дефектов в виде пор и трещин затруднительно. Кроме того, отсутствуют исследования коаксиальной лазерной наплавки молибденсодержащих порошков отечественного производства. Поэтому, для решения проблемы получения качественного бездефектного соединения, автором, была разработана комбинированная технология изготовления биметаллических корпусных деталей, включающей коаксиальную лазерную наплавку функционального слоя в качестве альтернативной для диффузионной вакуумной пайки.

А.Е. Скоробогатов вполне оправданно для достижения главной цели и решения поставленных задач применял аналитические и экспериментальные методы исследований с применением математического анализа и моделирования. Примененные методы исследований и полученные результаты не вызывают сомнений.

Во-первых, автором, на основе проведенного литературного анализа были установлены интервалы исследования мощности лазерного излучения и скорости сканирования, а также, с учетом гранулометрического анализа, подобраны молибденовые порошки различных марок и форм частиц.

Далее А.Е. Скоробогатов провел полный факторный эксперимент типа 2^3 , с нахождением уравнения, связывающего микротвердость с мощностью лазерного излучения, скоростью сканирования и расходом порошка. Анализ уравнения регрессии позволил автору установить закономерности влияния параметров технологического процесса на микротвердость и выделить мощность лазерного излучения и расходом порошка как наиболее существенные.

Анализ концентрации элементов в переходной зоне при коаксиальной лазерной наплавке, проведенный автором, показал наличие взаимной диффузии молибдена и железа, свидетельствующее о высоком качестве технологии; исследование микроструктуры показало отсутствие дефектов в виде пор и трещин. Оценка трибологических свойств показала более, чем двукратное снижение объемного износа образцов, изготовленных методом с использованием коаксиальной лазерной наплавки, по сравнению с методом диффузионной вакуумной пайки.

Далее, А.Е. Скоробогатов провел сравнительные стендовые испытания деталей, изготовленных по двум технологиям. Было установлено, что работоспособность деталей, изготовленных с применением разработанной комбинированной технологии коаксиальной лазерной наплавки, увеличивается в $\sim 2,5$ раза в сравнении с деталями, изготовленными по технологии диффузионной пайки в вакууме.

Таким образом, А.Е. Скоробогатов в предложенной технологии коаксиальной лазерной наплавки молибденового покрытия исключил недостаток технологии диффузионной пайки в части применения медного припоя, имеющего пониженную температуру плавления (по сравнению с рабочей температурой).

По автореферату можно сделать вывод о том, что диссертационная работа является завершённой, цель достигнута, поставленные задачи решены. Полученные результаты удовлетворяют всем признакам научной новизны, доведены до практического использования и прошли апробацию на практике (предприятие АО «МКБ «Факел», г. Химки) и конференциях. По теме диссертации автор имеет 5 опубликованных работ, в том числе 4 в журналах, рекомендованных ВАК.

В качестве недостатков к работе можно отметить следующие:

1. При выборе входных параметров для получения уравнения регрессии не был учтен шаг наплавки. Однако автором было проведено отдельное исследование по определению оптимального шага по критерию бездефектности.

2. Для оптимизации параметров режима можно было запланировать получение уравнения регрессии второго порядка. В то же время, автором была успешно проверена адекватность полученной модели по критерию Фишера.

Данные замечания не снижают общую ценность выполненных работ.

Судя по автореферату, диссертационная работа «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 –

«Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Скоробогатов Андрей Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Главный научный сотрудник

«АО «НПО Лавочкина».

д.т.н., профессор

Ефанов В.В.

Ефанов Владимир Владимирович (специальность 2.5.14 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов») тел. 8 (495) 573-23-61, e-mail: EfanovVV@laspace.ru Адрес: 125080, г. Москва, Ленинградский пр-т, д.71, кв.97



Ведущий инженер

«АО «НПО Лавочкина», к.т.н.

Стрельников И.В.

Стрельников Илья Владимирович (специальность 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии»), т. моб. 89040228714, e-mail: StrelnikovIV@laspace.ru Адрес: 170043, г. Тверь, ул. Можайского, д.56, кв.80

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы
СКОРОБОГАТОВА АНДРЕЯ ЕВГЕНЬЕВИЧА

по теме «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

В представленной работе рассматриваются актуальные вопросы технологии изготовления биметаллических изделий с помощью аддитивных технологий. С развитием технологий и усложнением конструкций деталей машин и агрегатов, появилась потребность в изготовлении деталей сложной геометрии с неоднородными физико-механическими свойствами. В настоящее время опережающими темпами развиваются альтернативные традиционным – технологии аддитивного формообразования изделий из металлических материалов: селективное лазерное плавление и коаксиальная лазерная наплавка.

С помощью коаксиальной лазерной наплавки можно изготавливать изделия комбинированным методом, например, наносить на заготовку, полученную литьем или другим способом, наплавленный слой с требуемыми эксплуатационными характеристиками к поверхности изделий. Такие биметаллические изделия востребованы в современных отраслях промышленности, особенно востребованы покрытия, обеспечивающие высокую износостойкость и выдерживающие высокие температуры эксплуатации. Для практического применения технологий коаксиальной лазерной наплавки необходимо проводить диагностику качества получаемых покрытий с учетом условий эксплуатации изделий. Критериями качества наплавленных покрытий является отсутствие пор и трещин в наплавленных слоях, значения микротвёрдости, износостойкость наплавленных слоёв и т.п.

Как известно, наплавленные покрытия, полученные лазерной наплавкой молибденового порошка, склонны к трещинообразованию. Однако автору удалось получить покрытия из молибдена без дефектов, за счет разработанных режимов наплавки и правильно подобранному исходному материалу. Режимы лазерной наплавки были подобраны с применением математического моделирования, что говорит о высоком уровне выполненной работы.

В результате была разработана технология изготовления биметаллических деталей, с применением лазерной наплавки молибденового

порошка на литую сталь. Полученные результаты существенно расширяют технологические возможности применения лазерной наплавки при производстве биметаллических деталей в различных отраслях промышленности.

По автореферату диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. В автореферате на изображениях микроструктур не четко видно масштабную линейку (рис.3 и рис.5).

2. Стоило бы более подробно описать применяемое оборудование для лазерной наплавки, например, указать основные технические характеристики используемых установок.

3. Для более информативной подачи материала, следовало представить величины объема износа по схеме «Сфера-диск» в виде таблицы, как было сделано при других испытаниях.

Указанные замечания не снижают уровень и практическую значимость диссертационной работы.

По материалам автореферата и опубликованным работам в рецензируемых журналах, индексируемых международными базами данных «Web of Science» и «Scopus», считаю, что диссертационная работа Скоробогатова А.Е. соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудования механической и физико-технической обработки».

Ведущий научный сотрудник лаборатории
физических методов упрочнения поверхностей трения
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
кандидат технических наук

Бирюков Владимир Павлович

11.11.2024

Адрес: 101000, г. Москва, М. Харитоньевский пер. д. 4.

Тел.: (499) 135-35-19

e-mail: laser-52@yandex.ru

*Подпись рукоп
специалист по*



Скоробогатов А.Е.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Скоробогатова Андрея Евгеньевича «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Развитие современного машиностроения тесно связано с внедрением в производство новых передовых технологий обработки материалов. Наибольший интерес вызывают аддитивные технологии с точки зрения многочисленных преимуществ перед классическими методами обработки, таких как повышение эксплуатационных характеристик деталей, снижение трудоемкости и объемов изготовления оснастки. Существует множество проблем связанных с внедрением аддитивных технологий в производство, особенно при изготовлении биметаллических деталей, работающих при высоких температурах. В диссертационной работе Скоробогатова А.Е. рассмотрена актуальная проблема изготовления биметаллических деталей с применением лазерной наплавки позволяющая заменить классический метод изготовления биметаллических деталей – вакуумную пайку.

В работе представлен достаточный объем информации для внедрения в производство лазерной наплавки, как альтернативного метода изготовления биметаллических деталей молибден-углеродистая сталь, что подтверждает практическую значимость результатов диссертационной работы.

Первым этапом работы выполнен анализ литературных источников в области технологий нанесения тугоплавких материалов и технологий получения исходных порошковых материалов.

Далее автор представляет выбор материалов и оборудования для коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую сталь. Описывает методики проведения экспериментов и определения физико-механических свойств получившихся покрытий.

В третьей части работы представлены исследования функциональных покрытий, полученных с применением коаксиальной лазерной наплавки и традиционной технологией – пайки. Автором установлено, что сферический молибденовый порошок наиболее благоприятно влияет на качество наплавленных покрытий. С помощью математического моделирования

установлены диапазоны параметров наплавки (мощность лазерного излучения, скорость сканирования, расход порошка), далее проведен подбор режимов наплавки и обоснованы преимущества лазерной наплавки молибденового порошка перед пайкой в ряде сравнительных испытаний.

В четвертой части приведены разработанные технологические рекомендации по изготовлению биметаллических деталей типа «Корпус» и результаты сравнения двух технологий. Установлено, что лазерная наплавка позволяет повысить работоспособность детали «Корпус» с одновременным снижением трудоемкости и стоимости изготовления.

Замечания по автореферату:

- Автором предполагается замена традиционной технологии (пайки) на лазерную наплавку молибденового порошка для изготовления биметаллических деталей. Будет ли закрыта потребность в молибденовом порошке марки ПМС-М99,9 при серийном производстве детали «Корпус»?;

- Под рис. 13 подпись: глубина износа показана на цветной шкале. Шкала выполнена в черно-белом цвете, из-за этого теряется информативность. Данное замечание касается также к рис. 10 и рис. 17.

Считаю, что указанные замечания не снижают общую ценность диссертационной работы.

Диссертация Скоробогатова А.Е. соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Начальник отдела
лабораторных исследований
филиала №1 АО «Московский
машиностроительный завод «Авангард»,
кандидат технических наук



Моисеев Кирилл Викторович

Тел.: +7 (916) 353-52-88; e-mail: mkv@mmza.ru; Адрес: 125130, г. Москва, ул. Клары Цеткин, 33.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скоробогатова Андрея Евгеньевича

«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Представленная работа относится к области лазерных аддитивных технологий, которым отведена особая роль в развитии современной промышленности. Их сущность состоит в последовательном добавлении наплавочного материала в результате его оплавления лазерным излучением и последующего ускоренного охлаждения самоотводом тепла вглубь материала. Трехмерное формообразование лазерной наплавкой отличается от других технологий послойного лазерного синтеза тем, что порошок, излучение и защитный газ поступают в рабочую область одновременно, что создает как преимущества, так и некоторые технологические ограничения этому генеративному процессу. Автором рассмотрена коаксиальная лазерная наплавка молибденового порошка на литую сталь, для получения биметаллических деталей.

Сплавы на основе тугоплавких материалов (молибдена) пригодны для работы при значительных нагрузках и температурах выше 1100 °С, при которых сплавы на основе железа, никеля и кобальта разупрочняются. Поэтому молибден и его сплавы находят широкое применение для изготовления деталей летательных аппаратов, двигателестроения и других областях промышленности.

Ввиду особых физических свойств молибдена (высокая температура плавления и высокая теплопроводность, значительная окисляемость при высоких температурах на воздухе) лазерную наплавку сплавов на его основе проводят в защитной атмосфере при достаточно высоких значениях мощности (более 1 кВт). Также затрудняет получение

защитных покрытий из молибдена его склонность к трещенообразованию при лазерной наплавке. Исходя из вышеизложенного изготовление биметаллических изделий лазерной наплавкой молибденового порошка является актуальной научно-технической задачей.

Основной задачей работы было исследование процесса коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литые заготовки для повышения эксплуатационных характеристик биметаллических изделий и замены традиционной технологии их изготовления – вакуумной пайки. В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований, в том числе с применением расчетных методов для определения режимов обработки, автор представляет технологические рекомендации по лазерной наплавке молибденового порошка на литую сталь, которые с одной стороны существенным образом расширяют технологические возможности лазерной наплавки тугоплавких материалов (молибдена), а с другой – позволяют получать защитные покрытия, обладающие хорошими физико-механическими свойствами и износостойкостью.

Наиболее интересными и значимыми научными результатами работы являются установленные связи между параметрами коаксиальной лазерной наплавки порошка молибдена на литую сталь и характеристиками наплавленного функционального слоя (структурой, фазовым составом и физико-механическими свойствами). С практической точки зрения основной вклад автора состоит в разработке режимов лазерной наплавки для изготовления биметаллических изделий из молибдена и литой стали.

Наряду с достоинствами работы следует отметить следующие замечания:

1. В автореферате не приведены характеристики используемых порошковых материалов (физические свойства и химический состав), однако указаны марки, метод получения и представлен их гранулометрический анализ.

2. Указаны интервалы варьирования основных параметров режима лазерной наплавки и определены рациональные, каким образом был определен расход защитного газа?

Эти недостатки никак не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», а ее автор Скоробогатов Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Начальник НИО «Титановые, магниевые, бериллиевые и алюминиевые сплавы» Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно - исследовательский институт авиационных материалов» национального исследовательского центра «Курчатовский институт», кандидат технических наук

Согласна с обработкой персональных данных и размещении этих сведений и отзыва на официальном сайте:


Дуюнова Виктория Александровна
« 18 » ноября 2024 г.

E-mail: admin@viam.ru

Тел.: 8-499-263-88-87;

Подпись Дуюновой В.А. удостоверяю:

Начальник управления
«Научно-образовательная деятельность»
кандидат технических наук, доцент



 Сviridenko Д.С.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно- исследовательский институт авиационных материалов» национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Почтовый адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17

admin@viam.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Скоробогатова Андрея Евгеньевича по теме «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертационная работа посвящена исследованиям в области коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую конструкционную сталь. Тема исследования актуальна, в связи с востребованностью альтернативных технологий изготовления биметаллических деталей, позволяющих повысить технические характеристики изделий, за счет получения специфических физико-механических свойств.

В диссертационной работе грамотно сформулированы цель и задачи исследования. Практическая значимость работы имеет большое значение для развития отечественного машиностроения. Разработаны режимы коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую конструкционную сталь. Автором проведены исследования функциональных покрытий, полученных по различным технологиям: лазерной наплавкой и вакуумной пайкой. В результате были разработаны технологические рекомендации по изготовлению биметаллических деталей с применением лазерной наплавки позволяющие заменить диффузионную вакуумную пайку.

Особый интерес представляют разработанные режимы лазерной наплавки, с помощью которых автору удалось получить покрытия из молибдена толщиной около 5 мм без дефектов в виде трещин, так как наплавка тугоплавких материалов на стали затруднена по причине образования трещин. Лазерная наплавка тугоплавких материалов по аддитивной технологии изучена недостаточно, результаты диссертационной работы вносят определенный вклад в развитие данного направления и определенно способствуют более глубокому изучению возможностей функциональных покрытий, полученных лазерной наплавкой.

В результате изучения автореферата диссертационной работы возникли следующие вопросы:

1. На сколько экономически целесообразно применять порошок осколочной формы в качестве исходного материала для лазерной наплавки?

2. В чем причина резкого различия твердости молибденовых покрытий, полученных с помощью вакуумной пайки и лазерной наплавки ?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертационная работа Скоробогатова А.Е. является законченным научно-исследовательским трудом, содержащим новые научные и практические результаты в области технологий и оборудования физико-технической обработки. Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудования механической и физико-технической обработки».

Доцент кафедры «Технология конструкционных материалов» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета «МАДИ», кандидат технических наук, директор института независимой автотехнической экспертизы ИНАЭ–МАДИ

Лихачева
12.11.2024



Лихачева Гатьяна Евгеньевна

Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Тел: 8 (926) 532-90-22

e-mail: 15329022@yandex.ru

Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.332.01
при ФГБОУ ВО «Московский
государственный технологический
университет «СТАНКИН»
Е.С. Сотовой
127994, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Скоробогатова Андрея Евгеньевича

«Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Целью настоящей работы является исследование и разработка комбинированной технологии изготовления биметаллических корпусных деталей, включающей коаксиальную лазерную наплавку функционального слоя из металлических порошков на литые заготовки из конструкционных сталей, для повышения их работоспособности.

Для достижения поставленной цели автором были решены следующие задачи: проведение аналитических и экспериментальных исследований влияния параметров коаксиальной лазерной наплавки на структуру и фазовый состав функционального слоя из порошка молибдена, наплавленного на литую сталь; определение рациональных режимов лазерной наплавки; проведение сравнительных испытаний твердости и износостойкости слоев из молибдена, полученных лазерной наплавкой и пайкой; проведение сравнительной оценки двух технологий.

Основной научный результат работы заключается в установлении связей между режимами наплавки, структурой, фазовым составом и набором свойств полученных образцов. В комплексе это позволило значительно расширить применение лазерной наплавки тугоплавких материалов, в частности молибдена, для получения функциональных покрытий с определенным набором физико-механических свойств. Важной составляющей практической значимости работы являются разработанные технологические рекомендации по коаксиальной лазерной наплавке

молибденового порошка на литую сталь, с помощью которых можно изготавливать биметаллические корпусные детали с повышенными эксплуатационными свойствами. Результаты работы, несомненно, обладают научной новизной и практической значимостью.

Достоверность результатов диссертационной работы Скоробогатова А.Е. подтверждена использованием современного оборудования и методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных, в том числе полученных с помощью моделирования и применения статистических методов обработки результатов.

Автореферат написан грамотным языком, сама научная работа является законченным исследованием.

По материалам диссертации опубликовано 5 работ, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 из которых входят в международные базы данных Scopus, Web of Science, а также подана заявка на изобретение.

По работе имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата присутствуют грамматические и пунктуационные неточности.

2. Черно-белые иллюстрации затрудняют восприятие полученных результатов.

Сделанные замечание имеют рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Скоробогатов Андрей Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Инженер научного проекта
кафедры «Обработка металлов давлением»
НИТУ МИСИС,
к.т.н. по специальности
05.16.01 – Металловедение
и термическая обработка
металлов и сплавов

тел. +7 (916) 001-60-36,
e-mail: chervyakova.ky@misis.ru

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.



Подпись
Заведующей
м. начальника
дела кадров

Червякова К.Ю.
Кузнецова А.Е.
«13» 11 2024 г.

Червякова Ксения Юрьевна

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скоробогатова Андрея Евгеньевича «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертация Скоробогатова А.Е. посвящена разработке технологии изготовления биметаллических изделий с применением аддитивных технологий, в частности, лазерной наплавке молибденового порошка на стальную заготовку. В настоящее время уже очевидно, что традиционные технологии формообразования часто проигрывают аддитивным технологиям аддитивного производства, к которому относится трехмерное формообразование лазерной наплавкой. Этот метод физико-технической обработки, появившийся в результате объединения идей и технологий из различных областей наук, позволяет придавать заготовке форму готового изделия за одну технологическую операцию и не требует изготовления специального инструмента, что обеспечивает экономию временных и материальных ресурсов. Сегодня эта передовая технология применяется также в производстве биметаллических деталей, ставших чрезвычайно актуальными в условиях стремления к повышению технических характеристик продукции различных отраслей промышленности.

Для проведения наплавки тугоплавких материалов таких как молибден, требуется адекватный выбор всего комплекса оборудования и материалов, а также исследование физических процессов, протекающих в зоне обработки, и выявления связей между режимами обработки и структурой в области нанесения материала. *Эта задача поставлена в работе.* Диссертант берется за исследование наплавки молибденового порошка с учетом его склонности к трещинообразованию, что дополнительно усложняет процесс поиска режимов лазерной наплавки. Выбор автора считаю вполне оправданным вследствие спроса на биметаллическую продукцию из тугоплавких материалов и сплавов (аэрокосмическая отрасль), а также недостаточных сведений по применению отечественного молибденового порошка для наплавки в профильной литературе. *Актуальность* выбранного направления для исследования не вызывает сомнений.

В работе автор осуществил комплексный подход к решению поставленной задачи, провел тщательный и подробный анализ технологических особенностей лазерной наплавки молибдена, выявил основные влияющие факторы и провел анализ этого влияния, что позволило ему определить режимы обработки, обеспечивающие возможность наплавки защитного функционального слоя из молибдена без дефектов. Кроме того, автор провел сравнительные исследования свойств образцов, полученных по предлагаемому методу (лазерной наплавки) и вакуумной пайки, результаты которых демонстрируют высокий уровень физико-механических свойств и износостойкости лазерной наплавки.

Следует выделить следующие *положения научной новизны* диссертационной работы:

- Разработана и реализована комбинированная технология изготовления биметаллических корпусных деталей, включающая коаксиальную лазерную наплавку металлического порошка молибдена на литую углеродистую сталь, позволившая повысить стойкость функционального слоя при высокотемпературном воздействии;

- Установлены взаимосвязи между параметрами коаксиальной лазерной наплавки (мощностью лазерного излучения P , расходом порошка $F_{\text{пор}}$, скоростью сканирования лазерного луча V) отечественного порошка молибдена на углеродистую сталь и характеристиками наплавленного функционального слоя (структурой, фазовым составом и физико-механическими свойствами).

С практической точки зрения ценность работы заключается в разработанных рекомендациях по выбору оборудования, материалов и режимов лазерной наплавки для разработки технологических процессов изготовления биметаллических деталей сталь-молибден.

При общей положительной оценке работы есть следующие замечания по автореферату:

1. При анализе литературных источников были выделены два метода аддитивного производства изготовления биметаллических деталей: селективное лазерное плавление и коаксиальная лазерная наплавка. Почему не был рассмотрен метод СЛП для изготовления биметаллической детали «Корпус»?

2. Зачем проводили испытания абразивного износа в течение 15 мин, если реальное время работы предложенной детали значительно меньше?

3. Для лучшего восприятия изображений автореферат следовало бы выполнить в цветной печати.

Указанные замечания не снижают общую ценность диссертационной работы.

Диссертационная работа Скоробогатова А.Е. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» и соответствует заявленной специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Автор работы Скоробогатов А.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по вышеуказанной специальности.

Профессор кафедры «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения»
Московского авиационного института,
(национального исследовательского университета),
доктор технических наук
по специальности 2.6.17-Материаловедение
(технические науки)

Белашова Ирина Станиславовна



Тел.: +7 (903) 555-27-91; e-mail: irina455@inbox.ru; Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Подпись Белашовой Ирины Станиславовны заверяю.

зам. нач. Управления по работе с перепиской



14.11.2024

Отзыв
на автореферат диссертации Скоробогатова Андрея Евгеньевича
«Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием
коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки»

Диссертация посвящена исследованию процесса коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую углеродистую сталь, для получения биметаллических корпусных деталей. Работа актуальна. Ее результаты могут быть использованы в ряде отраслей машиностроения, это двигателестроение, энергетика, авиастроение и др., где детали эксплуатируются при высоких температурах и в агрессивных средах (продуктах сгорания топлива).

Сплавы на основе тугоплавких металлов, в частности молибдена и его сплавов имеют особые физико-механические свойства. Это и определило направление данного исследования.

Автор обосновал преимущество применения коаксиальной лазерной наплавки перед проволоочной наплавкой и селективным лазерным сплавлением для изготовления биметаллических деталей со сложной геометрией.

Следует отметить объем экспериментов, выполненных автором, использование современных методик при исследовании структуры и свойств полученного молибденового покрытия, статистическую обработку результатов.

В работе установлено:

1. Влияние параметров коаксиальной лазерной наплавки на структуру и фазовый состав функционального слоя из порошка молибдена, наплавленного на литую углеродистую сталь.

2. Функциональное покрытие, нанесенное лазерной наплавкой порошка молибдена по рациональным режимам, обеспечивает преимущества перед молибденовым покрытием полученного с помощью пайки (значительное увеличение твердости и износостойкости при различных механизмах изнашивания).

3. Работоспособность деталей, изготовленных по разработанной комбинированной технологии с применением лазерной наплавки, увеличивается в $\approx 2,5$ раза в сравнении с деталями, изготовленными по технологии диффузионной вакуумной пайки. При этом комбинированная технология позволяет существенно снизить трудоемкость и стоимость изготовления данного типа деталей.

Практическая значимость заключается в возможности получения защитного молибденового покрытия за счет разработанных режимов коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую углеродистую сталь для изготовления биметаллических деталей.

По автореферату имеются замечания:

- не описано применяемое оборудование для коаксиальной лазерной наплавки и диффузионной вакуумной пайки;

- не указано для каких типов деталей и изделий возможно применять разработанные технологические рекомендации коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка.

Указанные замечания не снижают практическую значимость и научную ценность исследования.

Диссертационная работа Скоробогатова Андрея Евгеньевича представляет собой законченное научное исследование и по актуальности темы, научному уровню, полученным результатам соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункты 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842), а ее автор Скоробогатов Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по вышеназванной специальности.

Профессор НГТУ

Г.Н. Гаврилов

ФИО: Гаврилов Геннадий Николаевич

Должность: Профессор кафедры «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов»

Степень, звание: Профессор, доктор технических наук, заслуженный работник высшей школы РФ

Наименование организации: Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева

Почтовый адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Телефон, электронная почта: 8(631)436-63-22, gavrilov1109@mail.ru

Собственноручную подпись д.т.н.,

проф. Гаврилова Г.Н., заверяю,

Мерзляков И.Н.



*Ученый секретарь
Ученого совета НГТУ*

Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.332.01
при ФГБОУ ВО «Московский
государственный технологический
университет «СТАНКИН»
к.т.н. Е.С. Сотовой
127994, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скоробогатова Андрея Евгеньевича «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Тема диссертации актуальна и посвящена исследованиям процессов коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую углеродистую сталь. Коаксиальная лазерная наплавка является одним из методов аддитивного производства. Данный метод подходит для нанесения слоев разной толщины на материал основы, создавая, таким образом, биметаллические детали.

Автор использует наплавку молибденового порошка на углеродистую сталь для повышения эксплуатационных характеристик покрытия при высоких температурах. Однако, затруднительно получить лазерной наплавкой функциональные молибденовые покрытия с высокой плотностью и отсутствием дефектов в виде пор и трещин. Стоит отметить, что в научной литературе достаточно редко встречаются работы по наплавке молибденового порошка, что подтверждает актуальность исследований в этой области.

Применяемые Скоробогатовым А.Е. методы исследований и полученные результаты не вызывают сомнений. С применением полного факторного эксперимента и параметрического анализа были разработаны режимы лазерной наплавки порошка молибдена, позволяющие получить покрытия с высокой плотностью. Микрорентгеноспектральный анализ концентрации основных элементов в переходном слое показал наличие взаимной диффузии молибдена и железа. Исследования микроструктуры наплавленного покрытия показали отсутствие дефектов в виде пор и трещин,

что подтверждает качество наплавленного слоя. Сравнительные исследования механических и трибологических свойств подтвердили преимущества наплавленного покрытия по сравнению с диффузионной вакуумной пайкой.

В качестве замечаний к автореферату можно отметить следующее:

1. В автореферате при описании используемых материалов для лазерной наплавки указаны марки материалов, но не указан их химический состав.
2. Часть рисунков в автореферате следовало бы выполнить в укрупненном масштабе.

Данные замечания не снижают общую ценность работы. Таким образом, диссертационная работа Скоробогатова А.Е. является законченным научно-исследовательским трудом, имеющим научную новизну, теоретическую и практическую значимость. По теме диссертации опубликовано 5 работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, из которых 3 в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus (Q1 и Q2).

По теме диссертации автор имеет 5 опубликованных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях из перечня ВАК.

Диссертационная работа «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки» соответствует Положению о присуждении ученых степеней, а ее автор, Скоробогатов Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Профессор кафедры «Материаловедения»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

д.т.н., профессор

Федорова Лилия Владимировна

15.11.2024

тел. +7(926) 173-51-47, e-mail: momd@yandex.ru,

Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

Подпись завершено
Специалист по персоналу
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ХОДЫКИНА Л.Д.



В диссертационный совет 24.2.332.01 при
ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет
«СТАНКИН» по адресу: 127994, г. Москва,
ГСП-4, Вадковский пер., д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Скоробогатова Андрея
Евгеньевича по теме «Разработка технологии изготовления биметаллических
изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки»

Решаемая в работе задача, относящаяся к разработке технологии изготовления биметаллических деталей с применением лазерной аддитивной наплавки порошка молибдена на сталь, безусловно актуальна в условиях современной гонки за повышением технических характеристик изделий и сокращением стоимости производства, за счет внедрения новых технологических подходов обработки материалов.

Основную цель диссертационной работы автор формулирует как исследование и разработка комбинированной технологии изготовления биметаллических корпусных деталей с применением коаксиальной лазерной наплавки, для повышения работоспособности. Для ее достижения диссертант реализует комплекс мер, демонстрирующих научный подход в решении задачи.

Основная заслуга автора состоит в разработке нового технологического процесса лазерной наплавки молибденового порошка на литую конструкционную сталь, позволяющего изготавливать биметаллические детали. Для реализации указанного процесса автор рекомендует использовать предложенные им материалы, а также новые технологические режимы обработки, которые позволяют получать наплавленные молибденовые функциональные слои без дефектов. Однако, наиболее интересными с научной точки зрения считаю результаты исследования структуры и свойств материала, полученного при указанных неравновесных условиях кристаллизации. Эти результаты вносят существенный вклад в развитие материаловедения и технологии конструкционных материалов.

Ценность результатов работы для практики не вызывает сомнений: автором разработан новый технологический процесс, для которого предложен ряд практических рекомендаций, как по выбору оборудования и


материалов, так и по режимам обработки. Акт внедрения подтверждает практическую ценность полученных результатов.

При общем положительном впечатлении о работе есть некоторые замечания:

1. В автореферате на рисунках 3 и 5 не отчетливо видна микроструктура, на рисунке 4 графики распределения концентрации элементов. Следовало бы увеличить качество и размер изображений.

2. В работе диссертант приводит результаты очень интересных и сложных испытаний изнашивания при фреттинге. Описание методики проведенного исследования очень кратко и не дает полного представления о том, как был организован процесс испытания.

Замечания не влияют на общую положительную оценку работы. В свете вышесказанного следует заключить, что диссертационная работа Скоробогатова А.Е. по теме «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки», характеризуется научной новизной, практической значимостью и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор представленной работы Скоробогатов А.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудования механической и физико-технической обработки».

Доцент кафедры трибологии и технологий ремонта нефтегазового оборудования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина»,
кандидат технических наук  Бурякин Алексей Владимирович

Подпись сотрудника Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина»
Бурякина А.В. заверяю _____

Адрес: 119991 г. Москва, Ленинский пр-д, д. 65
E-mail : buriakin.a@gubkin.ru
Тел: +7 (499) 507-82-96




Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Начальник отдела кадров
О.Е. Ширяев
18.11.2024



Акционерное общество «КОМПОЗИТ»

Пионерская ул., д. 4, г. Королёв, Московская область,
Россия, 141070

Телеграф БЕРЕЗА

тел. (495) 513-20-28, 513-23-29
канцелярия 513-22-56, факс (495) 516-06-17
e-mail: info@kompozit-mv.ru

ОКПО 56897835, ОГРН 1025002043813, ИНН / КПП 5018078448 / 501801001

19.11.2024 исх. № 0110-2091

на № _____ от _____

Отзыв

на автореферат диссертации Скоробогатова Андрея Евгеньевича
«Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с
использованием коаксиальной лазерной наплавки», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-термической
обработки

Аддитивное производство – это современные методы изготовления деталей сложной формы, которые невозможно или экономически не выгодно изготавливать традиционными методами производства. Широкое распространение получил метод коаксиальной лазерной наплавки – метод аддитивного производства, в котором с помощью лазерного излучения происходит оплавление, а далее кристаллизации, исходного материала и нижележащего слоя. Данный процесс отличается высокой производительностью, а также возможностью получения градиентных, композитных и биметаллических материалов.

В настоящее время актуален вопрос повышения эксплуатационных характеристик, в том числе повышения рабочей температуры материала. Одним из решений вопроса является применения комбинированной технологии, включающей коаксиальную лазерную наплавку

функционального слоя из металлических порошков на литые заготовки из конструкционных сталей.

Исходя из положений, представленных в автореферате, можно сделать вывод, что структура работы выстроена последовательно и логично. Автореферат характеризуется четкостью формулировок цели, задач и результатов исследований.

Практически значимым является предложенная автором математическая модель распределения температуры нагрева детали «Корпус» в условиях высокотемпературного воздействия, позволяющая прогнозировать работоспособность деталей, на основании которых разработаны рекомендации для изготовления биметаллических деталей комбинированной технологией с использованием коаксиальной лазерной наплавки функционального слоя на литую заготовку.

Автором проведён большой объем теоретических, аналитических и экспериментальных исследований с использованием современного оборудования и методов математического анализа и моделирования, результаты которых опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, а также подана заявка на изобретение (патент РФ).

Замечания:

1. В работе представлены расчеты стоимости изготовления детали «Корпус» по двум технологиям, где за счет применения коаксиальной лазерной наплавки снижается трудоемкость изготовления детали в 1,7 раза, а стоимость в 1,76 раза по сравнению с применением традиционной технологии пайки. Необходимо провести расчеты с учетом стоимости материала.

2. Формулировки пункта 1 научной новизны представляется недостаточно убедительными. Отсутствует конкретика, которая не позволяет оценить эффективность предлагаемой технологии.

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации. Представленная к защите работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Скоробогатов Андрей Евгеньевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-термической обработки».

Начальник сектора аддитивных технологий отдела металлических порошковых материалов и аддитивных технологий, АО «Композит», кандидат технических наук. Даю согласие на обработку персональных данных.

19. 11. 2024г.



Басков Федор Алексеевич

Подпись Баскова Федора Алексеевича удостоверяю

Директор по кадрам АО «Композит»



 Б.Н. Елаков

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 4.

Теле.: 8 (495) 513-38-12

E-mail: info@kompozit-mv.ru