

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор
по образовательной деятельности
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)»

И.А. Артемьев

«*И.А. Артемьев*» 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» на диссертацию 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»

Диссертация Скоробогатова Андрея Евгеньевича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» на тему «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки» была выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН») на кафедре «Высокоэффективные технологии обработки». Диссертация посвящена исследованиям процессов коаксиальной лазерной наплавки молибденового порошка на литую сталь, с целью замены традиционной технологии изготовления биметаллических деталей из пар материалов углеродистая сталь – молибден.

Развитие различных отраслей машиностроения связано с усложнением формы деталей и повышением функциональных характеристик изделий, что реализуется путем использования биметаллов. Задачи экономии материалов и сокращения числа операций обуславливают непрерывно возрастающую потребность в разработке новых технологий и подходов при изготовлении биметаллических деталей. Важная роль в этом направлении принадлежит технологии коаксиальной лазерной наплавки, в процессе которой функцию

обрабатывающего инструмента выполняют сфокусированный при помощи специального сопла лазерный луч, струя порошка и защитного газа. В результате оплавления излучением порошка и слоя рабочей поверхности на ней образуется ванна расплава, а после ее кристаллизации – валик наплавки. Последовательным наложением валиков осуществляют выращивание трехмерного изделия. Как следует из технологического принципа лазерной наплавки, этот метод физико-механической обработки имеет ряд преимуществ перед традиционными технологиями производства биметаллических изделий. Процесс не имеет ограничений по конфигурации изготавливаемых деталей, отсутствует необходимость изготовления специальной оснастки, используемой для традиционных методов обработки таких как: литье, штамповка и др. В то же время, технологические возможности коаксиальной лазерной наплавки при изготовлении биметаллических деталей ограничивают выбор материалов. Исследования по расширению спектра обрабатываемых данным методом материалов активно ведутся как в России, так и за рубежом. Для обеспечения конкурентоспособности продукции отечественного машиностроения на мировом рынке многие научные школы страны при поддержке Правительства РФ проводят разработки в области лазерных аддитивных технологий. Однако, на данный момент коаксиальная лазерная наплавка по отношению к тугоплавким материалам изучена недостаточно.

Из сказанного можно заключить, что тема работы Скоробогатова А.Е. является актуальной и соответствует современным тенденциям развития машиностроения.

В качестве **цели работы** заявлено 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.

Автор проанализировал возможные пути достижения поставленной цели и сформулировал в соответствии с этим **задачи** исследования:

- На основе анализа научно-технической информации в области изготовления биметаллических изделий с использованием традиционных и лазерных аддитивных технологий, а также потребностей машиностроительных предприятий, провести выбор перспективных материалов и технологических подходов к изготовлению биметаллических деталей, сочетающих в себе комплекс различных эксплуатационных свойств;
- Выполнить аналитические и экспериментальные исследования влияния параметров коаксиальной лазерной наплавки на структуру и фазовый

состав функционального слоя из порошка молибдена, наплавленного на литую конструкционную углеродистую сталь;

- Определить рациональные режимы коаксиальной лазерной наплавки функционального слоя из порошка молибдена на литую конструкционную углеродистую сталь;

- Провести сравнительные испытания твердости и износостойкости в условиях различных механизмов изнашивания функциональных слоев из молибдена, полученных лазерной наплавкой и традиционной пайкой;

- Разработать математическую модель распределения температуры нагрева деталей, изготовленных традиционным и разработанным комбинированным методами, в условиях высокотемпературного внешнего воздействия, позволяющую прогнозировать работоспособность деталей;

- С использованием традиционной технологии пайки и разработанной технологии коаксиальной лазерной наплавки функционального слоя из порошка молибдена на литые заготовки из углеродистых сталей, изготовить экспериментальные образцы биметаллических корпусных деталей и провести их стендовые испытания при высокотемпературном воздействии;

- Провести сравнительную оценку трудоемкости и стоимости изготовления биметаллической корпусной детали с использованием традиционной технологии пайки и разработанной технологии коаксиальной лазерной наплавки функционального слоя из порошка молибдена на отливки из литой углеродистой стали;

- Разработать технологические рекомендации для производства биметаллических корпусных деталей по комбинированной технологии, с применением коаксиальной лазерной наплавки функционального защитного слоя из металлических порошков молибдена на отливки из литой углеродистой стали.

Для решения поставленных задач автором были использованы аналитические и экспериментальные методы исследований с применением методов математического анализа и моделирования. Применялось современное оборудование для коаксиальной лазерной наплавки и вакуумной диффузионной пайки. При проведении исследований структуры и свойств функциональных слоев применяли аттестованное отечественное и зарубежное оборудование, в том числе: оптический грануломорфометр, оптический микроскоп, сканирующий электронный микроскоп, микротвердомер, прибор для исследования износостойкости в условиях абразивного изнашивания, а также испытательный стенд для моделирования поведения материала в условиях фреттинга. Результаты экспериментов обрабатывались с помощью статистических методов обработки данных.

На основании проведенных исследований были получены результаты, **научная новизна** которых заключается в следующем:

- 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 отечественного порошка молибдена на углеродистую сталь и характеристиками наплавленного функционального слоя (структурой, фазовым составом и физико-механическими свойствами);

- предложена математическая модель распределения температуры нагрева детали «Корпус» в условиях высокотемпературного воздействия, позволяющая прогнозировать работоспособность деталей, изготовленных традиционной технологией и разработанной комбинированной технологией с использованием коаксиальной лазерной наплавки.

Практическая значимость работы состоит в:

- установленных рациональных режимах лазерной наплавки молибденового порошка на литую углеродистую сталь, обеспечивающих повышение стойкости функционального слоя в условиях различных механизмов изнашивания;

- разработке технологического процесса изготовления пространственно-сложной биметаллической детали «Корпус», включающего коаксиальную лазерную наплавку металлического порошка молибдена на литую углеродистую сталь, позволившего заменить традиционную технологию пайки и повысить стойкость функционального слоя детали при высокотемпературном воздействии;

- внедрении технологического процесса изготовления биметаллической детали «Корпус» с применением коаксиальной лазерной наплавки отечественного молибденового порошка ПМС-М99,9 на сталь 25Л, обеспечившего по сравнению с традиционной технологией пайки снижение временных и материальных затрат при производстве деталей.

По разработанным режимам лазерной наплавки были изготовлены образцы, исследования которых показали преимущество лазерной наплавки перед традиционной технологией пайки.

На основе результатов расчета стоимости изготовленных опытных деталей (биметаллические детали «Корпус») по двум технологиям в конкретных производственных условиях, установлено, что стоимость

изготовления по разработанной технологии снижается в 1,76 раза по сравнению с традиционной технологией.

Публикации и апробация результатов работы.

По теме диссертации опубликовано 5 научных трудов, в том числе: 4 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, из которых 3 в журналах, индексируемых базами Web of Science и Scopus, подана заявка на изобретение.

Замечания по работе:

1. В цели работы заявлена разработка комбинированной технологии изготовления биметаллических корпусных деталей: что подразумевается под «комбинированной технологией»?

2. Не вполне обоснованным является использование термина «повышение работоспособности» по отношению к обрабатываемой детали, более подходящим является термин «повышение надежности».

3. Технология разработана для конкретной детали: а для каких еще деталей она может быть применена?

4. Необходимо более четко прояснить причины повышения твердости наплавленного молибденового слоя по сравнению с твердостью пластины, прикреплённой традиционной технологией пайки: какова роль углерода в повышении твердости? Происходит ли образование карбидов?

5. Не приведено описание особенностей механической обработки наплавленного молибденового слоя по сравнению с обработкой молибденовой пластины после пайки, которые могут быть вызваны значительным повышением твердости.

6. Имеются замечания по представлению графических и иллюстративных материалов в презентации, в частности, неудачный выбор масштаба и шага изменения параметров на графиках, а также цветовых решений, что снижает восприятие информации.

Рекомендации по использованию результатов. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке технологических процессов изготовления биметаллических корпусных деталей на предприятиях ОПК, авиакосмической отрасли, машиностроении (АО Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», АО «НПО Энергомаш им. ак. В.П. Глушко, АО «Конструкторское бюро химавтоматики», АО «КБХиммаш им. А.М. Исаева, ПАО «ОДК-Сатурн» и др.).

Заключение ведущей организации по диссертационной работе Скоробогатова Андрея Евгеньевича на тему «Разработка технологии изготовления биметаллических изделий с использованием коаксиальной лазерной наплавки» основано на результатах всестороннего рассмотрения

текста диссертации и автореферата, опубликованных статей и на результатах обсуждения работы, проведенного на кафедре «Технологии конструкционных материалов» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Диссертация Скоробогатова А.Е. представляет собой завершённое самостоятельное исследование, содержащее новые научные и практические результаты в области технологий и оборудования физико-технической обработки. Скоробогатов А.Е. внес основной вклад в работу как при планировании исследований, так и на этапе проведения экспериментов, анализа полученных результатов и формулировки выводов. Текст диссертации изложен грамотно и логично, подготовлены качественные иллюстрации.

Диссертационная работа Скоробогатова А.Е. изложена на 158 страницах машинописного текста, включающего введение, четыре главы, заключение, список литературы из 110 наименований и четырех приложений, содержащих методики и расчеты, акт внедрения и заявку на изобретение.

Диссертация Скоробогатова А.Е. соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» и является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой имеют важное значение для современного машиностроения.

Автор работы Скоробогатов Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудования механической и физико-технической обработки». Заключение принято на заседании кафедры «Технологии конструкционных материалов», протокол №. 2 от 10.10.2024г. На заседании присутствовало 18 членов профессорско-преподавательского состава, из них 6 докторов технических наук, 12 кандидатов технических наук. Результаты голосования: «за» - 18 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет.

Заведующий кафедрой
«Технологии конструкционных
материалов», доктор
технических наук, профессор



Петрова Лариса Георгиевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»)

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

8 (499) 346-01-68 info@madi.ru