

В объединенный диссертационный совет 99.2.039.02 (Д999.122.02)
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет
им. Академика С.П. Королева»

ОТЗЫВ

**официального оппонента Пересторонина Александра Владимировича,
кандидата технических наук (специальность 05.02.07), ассистента на
диссертацию Баранова Дмитрия Александровича, «Структура и
свойства жаропрочного дисперсионно-твердеющего никелевого сплава
ХН68ВМТЮК при лазерной сварке деталей ГТД», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.17. Материаловедение**

Актуальность темы диссертации

Газотурбинные двигатели находят широкое применение в современном машиностроении ввиду их высокой удельной мощности и многочисленных вариантов исполнения. Они применяются в наземных транспортных средствах, судах, в стационарных электростанциях, в системах перекачки газа.

Особенностью двигателей этого типа является то, что мощность зависит от рабочих температуры и давления, поэтому их развитие связано с созданием новых материалов, обеспечивающих достаточные механические свойства при высоких температурах. На сегодняшний день эти качества обеспечиваются, прежде всего, никелевыми жаропрочными сплавами, легированными титаном и алюминием. При этом, создание двигателей требует изготовления из этих материалов сварных конструкций, что является крайне сложной технологической задачей ввиду высокой склонности к образованию горячих трещин при сварке и возможности снижения свойств за счет неблагоприятных изменений структуры.

Известные научные данные показывают, что применение для сварки концентрированных источников энергии способствует снижению трещинообразования, а также деформаций конструкций. Однако, на сегодняшний день для внедрения таких технологий недостаточно изучены особенности формирования шва и структуры металла жаропрочных никелевых сплавов, в частности, при использовании лазерной сварки.

Задача оптимизации процесса лазерной сварки с точки зрения формы шва является технологической, и в наше время известны подходы к её решению для большинства материалов. Однако, эксплуатационные свойства исследуемых в представленной диссертации сплавов являются структурночувствительными, при этом исследований формирования структуры и её связи со свойствами материала в настоящий момент недостаточно, что обуславливает актуальность работы для дальнейшего развития двигателестроения.

Научная новизна

В диссертационной работе положения научной новизны сформулированы следующим образом:

1. Установлена взаимосвязь между количеством и размером микродефектов в структуре ОШЗ и погонной энергией при лазерной сварке для сварных соединений из сплава ХН45ВМТЮБР, которая выражается прямопропорциональной зависимостью: снижение погонной энергии лазерного излучения с 0,24 до 0,12 кДж/мм приводит к снижению в 2 раза количества и размера микротрещин.

2. Экспериментально установлено, что повышение кратковременной прочности σ_e при повышенных температурах обеспечивается лазерной сваркой при формировании шва из сплава ХН68ВМТЮК. Полученные данные σ_e при лазерной сварке на 13% выше прочности сварных соединений, выполненных традиционной аргонодуговой сваркой.

3. Впервые определен интервал предела выносливости σ_{-1} (при долговечности 10⁶ циклов) от 215 до 243 МПа при лазерной сварке для стыковых сварных соединений из сплава ХН68ВМТЮК, гарантирующий обеспечение необходимых норм прочности для конструкций, работающих с максимальными напряжениями на сварные швы до 120МПа.

4. Установлено, что обеспечение благоприятной структуры сварного шва и ОШЗ достигается за счет повышения легированности указанных зон Мо, увеличением доли интремаллидной γ' -фазы в сочетании с оптимальными режимами термической обработки (закалка + старение). Это обуславливает гарантированное повышение кратковременной прочности при повышенных температурах до 10%.

Установленные факты и закономерности в целом согласуются с известными научными положениями и позволяют сделать конкретные выводы о возможностях повышения свойств сварных конструкций при лазерной сварке сплава ХН68ВМТЮК.

На основе полученных в работе результатов, можно обеспечить рациональный выбор ряда важных параметров процесса лазерной сварки, в частности, энергозатрат. Экспериментально показано повышение основных механических характеристик швов, таких, как прочность и выносливость, а также дано объяснение достигнутого эффекта с позиций материаловедения. Установлена связь изменения фазового состава при лазерной сварке с повышением прочностных свойств.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Описание методик экспериментальных исследований и расчетов позволяет получить полное представление о проведенной работе и сравнивать её результаты с известными научными данными. Сделанные автором заключения не противоречат известным научным положениям.

В работе применены современные оборудование, методики исследований и проведения расчетов, статистический анализ результатов и определение погрешностей для основных оцениваемых величин. Все основные выводы и результаты диссертационной работы обоснованы результатами проведенных исследований.

В работе имеются все необходимые ссылки на научную и нормативно-техническую документацию. Приведенные технологические рекомендации содержат всю основную информацию, необходимый иллюстративный материал, приведенные требования к реализации технологии и контролю соответствуют таковым для данного типа изделий.

Практическая ценность

Практическая ценность работы заключается в том, что в результате неё получены конкретные данные о достижимом уровне свойств сварных соединений из применяемого для создания элементов ГТД жаропрочного сплава. Даны технологические рекомендации, выполнение которых позволяет достигнуть указанного уровня свойств, а также их научное обоснование с точки зрения особенностей формирования структуры материала. Полученные результаты, в частности, приведенные в Главе 6, могут быть использованы для разработки технологических инструкций по лазерной сварке деталей из сплава ХН68ВМТЮК в различных изделиях. Возможность промышленного применения подтверждается актом о внедрении результатов диссертационной работы на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов».

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты, представленные в диссертационной работе, могут быть использованы при разработке технологий лазерной сварки деталей внутренних корпусов ГТД, выполненных из хромоникелевого жаропрочного сплава ХН68ВМТЮК. Дальнейшим этапом работ видится проведение серии типовых испытаний изделий – двигателей, содержащих компоненты,

полученные с применением предлагаемой технологии, в частности на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов».

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертация Баранова Д. А. состоит из введения, 6 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения.

Во **введении** автором приводится обоснование актуальности и значимости работы, сведения о структуре диссертации, формулировки цели, задач, новизны, значимости работы, подтверждения достоверности результатов, выносимые на защиту положения, сведения об апробации результатов работы, публикациях и вкладе автора

В **первой главе** приводятся результаты анализа научно-технической литературы по рассматриваемой тематике. Она содержит основные сведения о составе, свойствах, особенностях свариваемости хромоникелевых жаропрочных сплавов. Приводятся основные известные научные данные о взаимосвязи параметров традиционных процессов сварки и свойств соединений, применяемых технологических приемах, влиянии защиты зоны сварки. Рассмотрены основные традиционные технологии выполнения соединений (аргодуговая и ручная дуговая сварка), применяемые присадочные материалы, особенности выбора режимов, их достоинства и недостатки. Особо отмечена высокая склонность к образованию горячих трещин в сварных соединениях рассматриваемых сплавов. Описаны особенности процесса лазерной сварки, её возможности и варианты реализации, основные этапы развития. Сформулированы и обоснованы цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава содержит подробное описание используемых оборудования и материалов, используемых типов образцов для испытаний, описание методов проведения испытаний, а также исследований структуры

материала. Дано краткое описание подготовки металлографических проб, методики металлографических исследований. Приводятся ссылки на необходимую нормативно-техническую документацию.

В третьей главе приведены результаты определения влияния основных параметров лазерной сварки на размеры и форму швов в образцах из сплавов ХН45МВТЮБР и ХН68ВМТЮК. Установлены численные закономерности влияния плотности мощности излучения и длительности импульса лазерного излучения при сварке, изучено формирование швов при различных скоростях сварки. Показано влияние нагрева изделия в процессе сварки, вызывающего изменение размеров шва в начале и в конце соединения. Отмечены возможность устранения дефектов формирования шва при подаче присадочной проволоки, недостатки применения присадочного бурта и положительное влияние добавления присадочной проволоки с повышенным содержанием молибдена на свойства металла шва.

Четвертая глава посвящена изучению влияния термической обработки на структуру сплава ХН68ВМТЮК. Описан механизм дисперсионного упрочнения сплава и схема термической обработки. Проведено исследование балла зерна, состава, формы, характера зернограницных выделений, отмечено выпадение сложных карбидов и интерметаллидов, карбонитридов титана, проведено элементное картирование и установлено перераспределение легирующих элементов между различными зонами структуры после вакуумного отжига. Аналогичные результаты приведены для случая закалки и старения, показано снижение балла зерна на 1 единицу по сравнению с вакуумным отжигом, описаны особенности фазового состава.

Изучены особенности формы, состава и распределения вторичных фаз после термической обработки сварных соединений, отмечена стабилизация структуры после закалки и старения сварных швов.

В пятой главе представлены результаты механических испытаний сварных швов, выполненных лазерной сваркой с применением последующей

термообработки и без неё в сравнении со значениями для исходного материала и металла швов, выполненных аргонодуговой сваркой. Показано повышение предела прочности при лазерной сварке по сравнению с основным металлом на 10 %, а также аналогичное повышение по сравнению с металлом шва, полученного аргонодуговой сваркой. Впервые получены результаты определения предела выносливости, изучены особенности изломов. Установлено значение (120 МПа) максимально допустимых нагрузок для изделий, выполненных лазерной сваркой из сплава ХН68ВМТЮК.

В шестой главе даны наиболее значимые технические рекомендации, входящие в состав разработанных технологических инструкций, приведен маршрутно-технологический процесс лазерной сварки при производстве изделия «Корпус внутренний» 1-ого соплового аппарата ГТД. Проведен анализ трудоемкости процесса, показана возможность снижения времени изготовления изделия с 40 часов до 24 часов при переходе от традиционной технологии к использованию лазерной сварки.

В заключении кратко изложены основные результаты работы: оптимальные параметры режимов сварки, закономерности их влияния на формирование швов и дефектообразование, достигнутые механические свойства швов и их связь со структурой, приведен перечень разработанной документации для реализации технологии. Заключение в полной мере отражает основные выводы по всей диссертационной работе.

Список литературы содержит 91 наименование, в том числе ссылки на актуальные научные и научно-технические публикации, отечественные и зарубежные, а также на основную нормативно-техническую документацию по рассматриваемой тематике.

Автореферат отражает все основные положения диссертационной работы, кратко и ёмко передает её содержание.

По результатам работы подготовлено **12 публикаций**, в том числе 3 в изданиях, входящих в наукометрическую базу Scopus и 5 публикаций в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК. В статьях приведены данные, составляющие наиболее важные части диссертационной работы, таким образом, **требования ВАК в области публикации результатов можно считать выполненными.**

Результаты работы доложены на научно-технических семинарах и Всероссийских научно-технических конференциях, что **соответствует требованиям к апробации.**

Приложением к диссертационной работе является акт внедрения разработанной технологии на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов», что подтверждает заинтересованность промышленности в практической реализации полученных в ней результатов.

Замечания

По диссертационной работе Баранова Д. А. и автореферату можно сделать следующие основные замечания:

1. В подразделе 1.4.4 уделено избыточное внимание описанию развития лазерных процессов сварки. Приведенные в нём литературные данные в дальнейшей работе используются только косвенно.

2. В Разделе 2 не достаточно подробно описана методика испытаний на выносливость, а именно не приведены данные об используемом оборудовании и характеристиках цикла нагружения.

3. В Разделе 3 в результатах измерения размеров сечения шва отмечена важная особенность, связанная с их изменением по длине соединения, что вызывается нагревом заготовки. Однако, не приведены размеры используемых образцов, что необходимо для понимания того, насколько это изменение будет заметно на реальных изделиях конкретных размеров.

4. В некоторых поперечных сечениях швов, приведенных на снимках в Разделе 3, наблюдается поры. Требования НТД к пористости приведены только в подразделе 6.1. Целесообразно было бы дать оценку размеров пор и сопоставить с допустимым непосредственно в Разделе 3, посвященном оптимизации процесса сварки.

5. В Разделе 4 дано подробное описание и анализ результатов определения элементного состава различных структурных составляющих, имеющих важное значение для понимания влияния структуры на свойства металла. Однако, также было выполнено элементное картирование, являющееся сложным и дорогостоящим типом исследования, при этом его описанию не уделено достаточного внимания, а расшифровка затруднена неудобным форматом легенды.

6. В Разделе 5 при анализе макроструктуры излома не отмечен характер разрушения, прежде всего – наличие или отсутствие участков хрупкого разрушения.

7. В Разделе 6 не приведены снимки изделия, полученного в результате реализации технологии.

8. В работе нигде не приведено снимков внешнего вида лицевой стороны и корня шва, снимков образцов или их схем.

Заключение

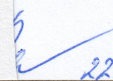
Содержание диссертации соответствует специальности 2.6.17. Материаловедение. Работа написана грамотным научно-техническим языком, обладает чёткой структурой и внутренним единством. Оформление работы и содержание автореферата соответствует требованиям ГОСТа.

Диссертация Баранова Д. А. является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной автором самостоятельно под руководством доктора технических наук, профессора Никитина Константина Владимировича, содержит новые научно-технические знания, а именно

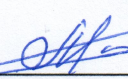
обоснование возможности повышения эксплуатационных свойств сварных изделий двигателестроения из жаропрочного дисперсионно-твердеющего сплава ХН68ВМТЮК за счет достижения необходимой структуры и фазового состава при использовании процесса лазерной сварки, что имеет важное значение для развития соответствующей области знаний, а именно материаловедения.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует критериям, установленным в п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент
к.т.н., инженер НОЦ ЦАТ,
ассистент каф. МТ12 «Лазерные
технологии в машиностроении»
ФБГОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана»


22.11.2021 Александр
Владимирович Пересторонин

Подпись Пересторонина Александра Владимировича заверяю
Начальник отдела кадров
МГТУ им. Н.Э. Баумана


В. А. Барышников

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Юридический адрес: 105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1

Фактический адрес: 105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1

Телефон: 8(499)2613845 (кафедра МТ12 «Лазерные технологии в машиностроении»).