

В диссертационный совет 99.2.039.02 (Д999.122.02) на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. Академика С.П. Королева» 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 244, главный корпус.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Хакимова Алексея Мунировича
«Структура и свойства жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ при изготовлении крупногабаритных деталей ГТД по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения металлов»

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

На отзыв представлены следующие материалы:

- диссертация объемом 147 страниц текста, включающего 112 рисунков, 24 таблицы, и 61 источник литературы;
- автореферат диссертации объемом 23 страницы текста, включающего 17 рисунков и 3 таблицы.

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Хакимова Алексея Мунировича посвящена актуальной задаче - исследованию структуры и свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения, с целью обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик крупногабаритных деталей. Жаропрочные никелевые сплавы являются востребованными в авиационном двигателестроении и широко применяются при изготовлении крупногабаритных корпусных заготовок. Изготовление таких заготовок является трудоемким и дорогостоящим процессом, так как изготавливаются из множества сборочных единиц, полученных различными технологиями. Действительно, особенностью таких деталей является разноструктурность полученного материала, прочность которого определяется частями детали, имеющими минимальные значения. Технология прямого лазерного нанесения позволяет минимизировать количество сборочных единиц, зачастую объединив их в единое изделие.

Также одной из главных проблем в производстве крупногабаритных деталей методами литья, механической обработки с применением сварки и обработки металлов давлением является низкий коэффициент использования материала (КИМ).

Аддитивные технологии позволяют увеличить КИМ практически до 90% по сравнению с традиционными технологическими процессами, в виду того, что постобработка в большинстве случаев сводится к снятию небольшого припуска материала. Кроме того, скорость изготовления этих деталей позволяет их получать в кратчайшие сроки при требуемых свойствах материала.

Тем не менее, сложный химический состав жаропрочных сплавов на основе никеля при аддитивном производстве (АП) приводит к образованию различных интерметаллидных фаз и

выделений карбидов по границам зерен, которые существенно влияют на технологичность процесса из-за склонности структуры такого материала к растрескиванию. Помимо этого, из-за направленного затвердевания и быстрого охлаждения, связанных с процессами АП, эти сплавы испытывают значительную анизотропию из-за эпитаксиально выращенной микроструктуры, а также подвержены повышенному влиянию остаточных напряжений, которые иногда бывает трудно уменьшить с помощью методов термической постобработки. В этой связи актуальность темы диссертации, посвященная исследованию влияния технологических режимов сплавления на структуру сплава ХН50ВМТЮБ, не вызывает сомнений.

Основываясь на вышеизложенном, а также согласно анализу изученной научно-технической литературы, посвященной получению жаропрочного сплава на основе никеля ХН50ВМТЮБ аддитивным методом следует вывод, что вопрос не раскрыт в достаточной мере, проведенные исследования не позволяют установить закономерности, обуславливающие воспроизводимость технологического процесса. Следовательно, работа Хакимова А.М. носит характер актуальной и имеет практическое значение.

При оценке достоверности основополагающих результатов диссертационной работы Хакимова А.М. отмечается, что в процессе проведения исследований автор использовал комплекс известных, опробованных методик и аттестованное лабораторное и промышленное оборудование. Практически, все перечисленные результаты являются новыми и оригинальными, сомнений в их достоверности не возникает.

Анализ диссертационной работы по главам

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения.

В первой главе выявлены требования к свойствам материала, рассмотрены зависимости жаропрочности и жаростойкости в соотношении с микроструктурой и механическими свойствами, рассмотрены методы производства металлопорошковых композиций (МПК), оценены сходства и различия традиционных и аддитивных технологий получения металломатричных материалов. Автор выполнил анализ научно-технической литературы и опыта применения аддитивных технологий, а также привел достаточные аргументы в отношении преимущества аддитивных технологий по отношению к традиционным технологиям.

Во второй главе описаны материалы, оборудование, методы и методики исследований. Представленная на отзыв работа содержит описание технологических и исследовательских особенностей процесса прямого лазерного нанесения материала. Приведено описание этапов исследования параметров качества исходной МПК, структуры и свойств материала из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного аддитивной технологией прямого лазерного нанесения, проведения термической обработки и изготовления опытной заготовки детали «Корпус» выходного устройства перспективного изделия. В работе также представлены технические характеристики используемой установки гибридного комплекса с многоканальным соплом.

Автором отработана методика изготовления образцов из МПК посредством эмпирического подбора стабильных режимов прямого лазерного сплавления. По результатам исследовательских этапов предусмотрена разработка технологических рекомендаций и комплекса технологических решений, включая опытно-промышленные испытания.

В третьей главе представлены результаты сравнительного анализа МПК жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного разными методами от двух производителей: ФГУП «ВИАМ» (газовая атомизация) и АО «Композит» (центробежное распыление). Автором исследованы базовые характеристики МПК, такие как: морфология частиц, химический состав,

гранулометрический состав, произведена оценка структуры частиц МПК на наличие дефектов. Результаты анализа легли в основу рекомендаций и решений о предпочтительном методе изготовления МПК и, соответственно, выборе производителя МПК.

Автором установлено наследственное влияние структуры МПК на характеристики микроструктуры материала, полученного по технологии прямого лазерного нанесения, заключающееся в переносе дефектов структуры частиц в материал.

В четвертой главе исследовано влияние процесса прямого лазерного нанесения и термической обработки на структуру и свойства образцов из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ. Автор экспериментальным путем определил оптимальные режимы прямого лазерного нанесения материала и термической обработки для удаления трековой структуры, минимизировал причины возникновения трещин при соблюдении условий стабильности процесса. Как результат этих научно-практических изысканий в диссертационном исследовании в форме графических иллюстраций представлены условия возникновения и размеры дефектов структуры материала в зависимости от мощности лазерного излучения.

В пятой главе рассматривались вопросы разработки аддитивной технологии прямого лазерного нанесения металлов для получения опытной заготовки детали «Корпус». Автором был подробно рассмотрен вопрос оптимизации и адаптации конструкции заготовки детали «Корпус» под требования аддитивных технологий. Следует отметить, что опытным путём, автор смог установить предельный угол наклона профильной стенки шпангоута и подобрать радиусы скругления на углах шпангоутов. В результате были разработаны маршрутный технологический комплекс изготовления изделия и управляющая программа для роботизированной установки прямого лазерного нанесения металлов.

В шестой главе проведена апробация разработанной технологии получения опытной заготовки детали «Корпус» с помощью аддитивной технологии прямого лазерного нанесения металлов, а также исследована возможность использования вторичной МПК с целью повышения КИМ. По результатам работы была изготовлена опытная заготовка детали «Корпус» с отладкой автором управляющей программы с целью предупреждения возможных дефектов. Контроль геометрии детали методом сканирования на ATOS выявил полное соответствие предъявляемым техническим требованиям к геометрии детали.

В заключении приведены основные научные и практические результаты, достигнутые в ходе выполнения диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы

Хахимов Алексей Мунирович получил новые, наиболее значимые результаты, а именно:

1. Установил наследственное влияние структуры МПК, заключающееся в переносе дефектов структуры частиц в материал, полученный по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения;
2. Установил влияние режимов прямого лазерного нанесения на количество дефектов и размер зерна в структуре материала как до, так и после термической обработки;
3. Выявил влияние параметров прямого лазерного нанесения на однородность механических свойств получаемого материала из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ.

Практическая значимость диссертационной работы

1. Определен оптимальный режим прямого лазерного нанесения, обеспечивающий однородные механические свойства в продольном и поперечном сечениях исследуемого материала;

2. Проведена опытно-промышленная апробация разработанной в диссертационной работе технологии посредством изготовления опытного образца заготовки ДСЕ «Корпус» перспективного изделия, соответствующего предъявляемым требованиям;

3. Разработанная технология внедрена в производство филиала АО «ОДК» «НИИД», что подтверждается актом о внедрении результатов и разработанным технологическим процессом (Приложение А и Б).

Достоверность полученных результатов в работе также подтверждается использованием известных положений прикладных наук, хорошей согласованностью полученных теоретических результатов с результатами экспериментальных данных, а также с результатами исследований других авторов.

Основные замечания по содержанию и оформлению работы

Основные замечания по работе сводятся к следующему:

1. Сплав ХН50ВМТЮБ относится к группе свариваемых сплавов с ограниченным содержанием алюминия и титана, способствующих образованию гамма-штрих фазы, которая с одной стороны необходима для упрочнения сплава при высоких температурах, с другой – является причиной образования трещин при термической постобработке. Сплавы этой группы также обладают пониженной пластичностью по границам зерен из-за осаждения карбидов титана, хрома и др. по границам зерен, что особенно характерно для аддитивных технологий в силу особенностей кристаллизации ванны расплава для этих процессов. В этой связи для обоснованного выявления причин образования трещин, кроме микроэлементного анализа частично затронутого в диссертации, необходим рентгеноструктурный фазовый анализ, результаты которого в диссертации не приведены.
2. Анализ технологических параметров аддитивных процессов обычно принято проводить с помощью таких параметров как линейная плотность энергии и (или) удельная энергия сплавления, равная отношению мощности лазерного излучения к приращению объема наплавленного материала, поскольку превышение этой энергии приводит к образованию трещин, а ее заниженное значение – к появлению непроплавленных областей. Изложение материала диссертации существенно бы выиграло в научном плане, если бы экспериментально подобранные технологические режимы сплавления были проанализированы с использованием этих характеристик.
3. В главе 4 не указана температура при которой проводились испытания длительной прочности, что говорит о невозможности понимания выполнения или невыполнения реальных условий работы ГТД.
4. В главе 4 не указано количество циклов проведения усталостных испытаний.
5. В главе 6 не приведены фотографии среза стенки заготовки детали «Корпус» после удаления жертвенного слоя.

Приведенные выше замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы, ряд из них носит рекомендательный характер, что является больше пожеланиями к успешному её продолжению.

Соответствие публикаций автора и автореферата диссертации ее содержанию

Основные результаты исследований в достаточной мере освещены в 10-ти опубликованных работах, в том числе в 5-ти статьях в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 2-х статьях в журналах, входящих в международную систему цитирования Scopus. Результаты работы апробированы на различных научно-технических конференциях Всероссийского и международного уровня и хорошо известны

научной общественности, публикации автора и автореферат диссертации соответствуют содержанию диссертации.

Тема и содержание диссертации соответствует специальности 2.6.17. Материаловедение, а содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Хакимова Алексея Мунировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором и с участием коллег и научного руководителя экспериментальных исследований содержится решение важной научно-технической задачи – исследование структуры и свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения, с целью обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик крупногабаритных деталей. Также считаю, что по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени достоверности результатов работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 11.09.2021), а её автор Хакимов Алексей Мунирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение».

Доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
«Технологии производства двигателей»
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева»
Специальность, по которой защищена диссертация:
05.02.09 Технологии и машины обработки давлением
Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34
Телефон: +7 (846) 267-45-79
E-mail: berill_samara@bk.ru

Хаймович Александр Исаакович

Я, Хаймович Александр Исаакович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации Хакимова Алексея Мунировича.

Хаймович Александр Исаакович

Подпись Хаймовича Александра Ис



Хаймовиче АИ удостоверяю.

отдела сопровождения деятельности
ответов Самарского университета

Васильева И.П.

20. 10.2022 г.