

ОТЗЫВ

официального оппонента
доктора технических наук, ректора СПбГМТУ профессора
Туричина Глеба Андреевича
на диссертационную работу
Маликова Александра Геннадьевича

«Управление механикой структурно-фазового состава высокопрочных лазерных сварных соединений термически упрочняемых алюминиевых сплавов»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости газа и плазмы».

1. Актуальность темы диссертации.

Постоянное развитие аэрокосмической промышленности направлено на совершенствование весовой эффективности конечного изделия. Снижение веса и стоимости производства — наиболее сложная технологическая задача в области совместных разработок как новых материалов, так и перспективных технологий соединения этих материалов в изделиях авиационной и космической техники. На сегодняшний день актуальным является замена технологии заклепочного соединения современных термически упрочняемых алюминиевых сплавов на новые высокопроизводительные материалосберегающие технологии, обеспечивающие заданные механические характеристики. Лазерная сварка, как высокоскоростной и легко управляемый процесс, позволяет выполнять сварку деталей сложных геометрических форм, оптимизированных с точки зрения механической жесткости, прочности, скорости производства и визуального качества. Использование лазерной сварки вместо технологии заклепочного соединения приведет к уменьшению конечного веса изготовленной конструкции из-за удаления ненужных перекрытий материала, заклепок и герметика между соединяемыми деталями, а также увеличит производительность процесса за счет высокой скорости сварки.

Однако, основные научные результаты исследований показали, что существует проблема, состоящая в том, что механические характеристики (временное сопротивление на разрыв, предел текучести и относительное удлинение) лазерных сварных соединений, которые непосредственно связаны со структурно-фазовым состоянием сварного шва, оставались низкими и составляли 50-80 % от значений исходного сплава.

Получение высокопрочных лазерных сварных соединений является актуальной научной задачей. Диссертационная работа Маликова Александра Геннадьевича посвящена решению комплексной научной проблемы, связанной с достижением максимальных механических характеристик неразъемных лазерных сварных соединений термически упрочняемых алюминиевых и нового класса материалов – Al-Li сплавов третьего поколения и – за счет управления структурой и фазовым составом сварного шва, в результате оптимизации процесса лазерного воздействия, последующей оптимизации пост термообработки в виде закалки и

искусственного старения и впервые применяемого контроля эволюции структурно-фазового состава сварного шва алюминиевых сплавов, за счет применения современного независимого метода диагностики: дифрактометрии синхротронного излучения в сочетании с комплексной оценкой физико-механических, технологических и функциональных свойств.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Научные новизна, защищаемые положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы автором и подтверждаются экспериментальными исследованиями. Особенно следует отметить большой объем проведенных экспериментов и статистическую значимость полученных на их основе результатов. Представленная работа является завершенным трудом, в котором сформулированы логически выстроенные выводы и рекомендации.

3. Достоверность полученных в работе результатов

Достоверность представленных результатов определяется использованием комплекса современных аналитических методов исследования структуры материалов и оценки их свойств, воспроизводимостью экспериментальных данных, статистической обработкой результатов измерений, соответствием результатов исследований данным, полученным другими группами специалистов. По материалам диссертации опубликованы 23 печатные работы, входящие в перечень ВАК. Результаты работы были представлены и обсуждены на Всероссийских и Международных научных конференциях.

4. Значимость результатов для науки и практики

Научной новизной выполненных исследований являются:

1. Впервые созданы научные основы технологии лазерной сварки современных термически упрочняемых алюминиевых сплавов, что позволило получить прочностные свойства сварных соединений близких или равных исходным сплавам.

2. Впервые на основе комплексного подхода, включающего оптимизацию процесса лазерной сварки и последующую оптимизацию термической обработки (закалку и искусственное старение), удалось реализовать замкнутый цикл фазовых превращений в лазерных сварных соединениях алюминиевых сплавов: Д16Т система Al-4.4Cu-1.5Mg, 1420 системы Al-5.2Mg-2.1Li; 1424 системы Al-4.9Mg-1.65Li, 1441 системы Al-1.7Cu-0.9Mg-2Li, В-1461 системы Al-2.7Cu-0.3Mg-1.8Li, В-1469 системы Al-3.9Cu-0.3Mg-1.2Li.

3. Впервые показано, что, управляя параметрами термической постобработки образцов со сварным соединением всех исследованных термически упрочняемых алюминиевых сплавов, возможно целенаправленно влиять на формирование заданных механических свойств сварного шва за счет изменения структурно-фазового состава.

4. Впервые для исследования эволюции фазового состава сварного шва в исходном состоянии и после оптимальной термообработки термически упрочняемых алюминиевых и алюминий-литиевых сплавов марки Д16Т, 1424, 1441, В-1461, В-1469 применено синхротронное излучение с использованием

установки класса «мегасайенс» ИЯФ СО РАН, что позволило с высоким разрешением измерить распределение фазового состава поперек шва на всех этапах исследований.

5. Впервые по результатам экспериментальных исследований, на основе оптимизации процесса закалки с последующим искусственным старением, построены 3D-карты механических свойств образцов со сварным соединением (временного сопротивления, предела текучести, предельного относительного удлинения) в зависимости от температуры и времени старения всех исследуемых сплавов.

6. Впервые четко экспериментально показано, что изменение прочности вследствие закалки при оптимальной температуре в области 560°C лазерных сварных соединений сплава В-1469 физически обусловлено изменением микро- и наноструктуры. т.е. фактически растворением агломератов на границе зерен и гомогенизацией твердого раствора, что обуславливает первые стадии процесса распада пересыщенных твердых растворов, с образованием зон Гинье-Престона и с выделением промежуточной метастабильной θ'' фазы.

7. Впервые для сварных швов сплава В-1469 системы Al-3.9Cu-0.3Mg-1.2Li ($CCu/CMg \approx 13$ и $CCu/CLi \approx 3,25$) установлено влияние большого относительного содержания CCu/CLi . Экспериментально установлено, что, в отличие от исходного сплава с преобладающей упрочняющей фазой T1, в лазерном шве после оптимальной термической обработки в виде закалки с последующим искусственным старением преобладает упрочняющая фаза $\theta/(Al_2Cu)$.

8. Впервые проведены малоцикловые испытания лазерных сварных соединений до и после термообработки для алюминиево-литиевых сплавов 1420 1441 и В-1461 на пульсирующее растяжение при различных амплитудах нагрузки, при повышенных и пониженных температурах. Установлено предельное число циклов до разрушения. Показано, что для термообработанных сварных соединений количество циклов до разрушения увеличивается в 3-4 раза и приближается к исходному сплаву.

9. Впервые оптимальное лазерное воздействие и последующая термообработка позволили достичь значений прочностных характеристик сварных соединений близких или равных значениям для исходного сплава.

Достигнуты значения.

- Для лазерных сварных соединений сплава Д16Т система Al-4.4Cu-1.5Mg. временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 99%, 98% и 95 % соответственно от значений исходного сплава.

- Для лазерных сварных соединений сплава 1420 системы Al-5.5Mg-2Li временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 100%, 132% и 21 % соответственно от значений исходного сплава.

- Для лазерных сварных соединений сплава 1424 системы Al-4.9Mg-1.65Li временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 98%, 98% и 92 % соответственно от значений исходного сплава.

- Для сварных соединений сплава 1441 системы Al-1.7Cu-0.9Mg-2Li временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 98%, 104% и 64 % соответственно от значений исходного сплава.

- Для сварных соединений сплава В-1461 системы Al-2.7Cu-0.3Mg-1.8Li временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 93%, 94 % и 86 % соответственно от значений исходного сплава.

- Для сварных соединений сплава В-1469 системы Al-3.9Cu-0.3Mg-1.2Li временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение сварного шва составляет 95%, 94 % и 38 % соответственно от значений исходного сплава.

В практическом плане, результаты исследований будут способствовать внедрению технологии лазерной сварки в авиа- и ракетостроение, что может в значительной мере определить процесс развития авиационного и космического машиностроения в России и позволит обеспечить создание научно-технологического задела, близкого к мировому уровню, направленного на реализацию новых конструктивных решений при соединении деталей в узлы в авиа- и ракетостроении; снижение материалоемкости и общего веса единицы изделия в авиа- и ракетостроении и получение дополнительных возможностей для одновременного повышения массогабаритных характеристик перевозимых ею объектов.

5. Общая характеристика содержания диссертации

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 190 наименований и 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 390 страниц, включая 161 рисунок и 30 таблиц.

6. Основное содержание работы

Во введении автор формулирует актуальность выбранной цели исследований, указывает на основные задачи, решаемые в диссертационной работе, отмечает научную новизну исследований, практическое значение работы, перечисляет основные положения, вынесенные на защиту, а также кратко пересказывает содержание диссертации по главам.

В первой главе проведен анализ состояния проблемы по получению высокопрочных лазерных сварных соединений алюминиевых сплавов на основе обзора литературы, рассмотрены основные принципы лазерной сварки. Показано, что задачи исследований, на решение которых направлена диссертационная работа, являются актуальными.

В второй главе рассмотрены термически упрочняемые алюминиевые и алюминивно-литиевые сплавы. Показано современное технологическое и аналитическое оборудование для исследования структуры и свойств лазерных сварных соединений. Эксперименты по получению лазерных сварных соединений выполнялись на АЛТК «Сибирь», включающем мощный СО₂ лазер, портално-координатную машину, разработанным в ИТПМ СО РАН. При выполнении аналитических исследований фазового состава лазерных сварных использовали установку класса «мегасайенс» входящую в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения», экспериментальная станция "Дифрактометрия в «жестком» рентгеновском диапазоне" (ИЯФ СО РАН).

В третьей главе проведена оптимизация параметров процесса лазерной сварки исследуемых алюминиевых сплавов: скорости сварки, мощности излучения, диаметра, глубины и места расположения фокусного пятна, а также расхода защитного нейтрального газа с целью получения сварных соединений без внешних

дефектов. В качестве внешних дефектов подразумевается отсутствие трещин, непроваров, несплошностей, подрезов, раковин, занижений, открытой пористости сварных соединений. Критерием качества внутренней микроструктуры и морфологии лазерного сварного шва стыковых соединений, являлось минимальная пористость, а также равенство ширины верхней и корневой части и получение X-образного стыкового сварного шва

Найдены оптимальные энергетические условия получения сварных соединений. Установлено, что для медесодержащих алюминиевых сплавов энергия на единицу объема сварного шва выше, чем для сплавов, содержащих магний, при этом значение погонной энергии, наоборот, выше. Показано, что прочность сварных соединений, полученных при оптимальных условиях лазерной сварки низка, снижение прочности связано с резким изменением микроструктуры сварных соединений.

В четвертой главе описана оптимизация фазового состава для достижения оптимальных механических свойств лазерных сварных соединений алюминиевых сплавов. Показаны режимы посттермообработки для исследуемых лазерных сварных соединений, позволяющие достигать максимальных механических характеристик. Проведен структурно-фазовый анализ лазерных сварных соединений до и после термообработки.

В пятой главе приведены результаты малоцикловых испытаний термообработанных сварных соединений на пульсирующее растяжение при различных амплитудах нагрузки, при температурах -60 , $+20$, $+85$ °С. Установлено предельное число циклов до разрушения для лазерных соединений при температуре испытаний 20 , 85 и -65 °С и деформации

В шестой главе рассмотрена эволюция структурно-фазового состава лазерных сварных соединений. Показано, что для сварного шва сплава Д16Т системы Al-4.4Cu-1.5Mg, основная фаза α -Al дополнительная фаза θ (Al₂Cu) после оптимального ТО основные фазы α -Al, S(Al₂CuMg) + θ (Al₂Cu)). Для сварного шва сплава 1424 системы Al-4.9Mg-1.65Li, основная фаза α -Al дополнительная фаза S1(Al₂MgLi) после оптимального ТО основные фазы α -Al, δ' (Al₃Li) дополнительная фаза S1(Al₂MgLi). Для образца сварного шва сплава 1441 системы Al-1.7Cu-0.9Mg-2Li, основные фазы α -Al T₂(Al₆CuLi₃) дополнительная фаза S'(Al₂MgCu) после оптимального ТО основные фазы α -Al- δ' (Al₃Li) +S'(Al₂MgCu). Для образца сварного шва сплава В- 1461 системы Al-2.7Cu-0.3Mg-1.8Li, основная фаза α -Al. T₁(Al₂CuLi), T₂(Al₆CuLi₃), после оптимального ТО основные фазы α -Al, T₁(Al₂CuLi), δ' (Al₃Li), дополнительная фаза S'(Al₂MgCu). Для образца сварного шва сплава В-1469 системы Al-3.9Cu-0.3Mg-1.2Li, основная фаза α -Al и T1(Al₂CuLi), после оптимального ТО основные фазы α -Al, θ' (Al₂Cu).

В седьмой главе обобщены результаты исследований и показано влияние легирующих элементов Mg, Cu, Li на механику структурно-фазового состава и механические характеристики сварного шва. Реализован замкнутый цикл фазовых превращений в лазерных сварных соединениях алюминиевых сплавов. Проанализировано изменение временного сопротивления $\Delta\sigma_b$, предела текучести $\Delta\sigma_{0,2}$ и относительного удлинения $\Delta\delta$ сварного шва в зависимости от фазового состояния сварного шва после оптимальной закалки и закалки с последующим искусственным старением. Прочностные характеристики сварных соединений,

полученных при оптимальных условиях лазерной сварки, становятся близки или равны характеристикам для исходных сплавов в состоянии поставки.

В заключении диссертации приводятся основные результаты и выводы.

7. Личный вклад соискателя в диссертационную работу

Результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором, либо в соавторстве с другими специалистами при его непосредственном участии. Диссертантом поставлена цель работы, сформулированы задачи, основные положения и выводы. Диссертантом выявлены основные закономерности эволюции структурно-фазового состава и изменения механических свойств лазерных сварных высокопрочных соединений Al-сплавов. Обобщены результаты исследований и показано влияние легирующих элементов Mg, Cu, Li на механику структурно-фазового состава и механические характеристики сварного шва

8. Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.

Автореферат отражает содержание диссертации.

9. Практическая значимость работы

Полученные в работе результаты исследований расширяют представления о структурно-фазовых превращениях, происходящих при формировании сварных соединений с помощью лазерной сварки и последующей пост-термообработки. Полученные результаты актуальны в рамках развития государственной программы РФ «Развитие авиационной промышленности, создание высококонкурентной авиационной промышленности и закрепление ее позиции на мировом рынке в качестве третьего производителя по объемам выпуска авиационной техники. Потенциальными пользователями представленной технологии могут стать научные организации, такие как ВИАМ, НИАТ, МГТУ им Баумана, а также предприятия, входящие в ПАО «Объединённая авиастроительная корпорация».

10. Несмотря на положительное, в целом, впечатление от работы, по ней имеется целый ряд вопросов и замечаний:

1. Работа оформлена крайне небрежно, по тексту пропущены отдельные слова и целые выражения, а отсутствие согласования падежей перестает удивлять уже к концу первой главы. К тому же автор часто вводит оригинальные термины там, где существует стандартная терминология.

2. Утверждение автора об отсутствии самосогласованных моделей процесса лазерной сварки, в том числе и лазерной сварки алюминиевых сплавов, не соответствует действительности. Известен целый ряд моделей, в том числе доведенных до уровня коммерческого программного продукта, которые позволяют с высокой точностью рассчитывать форму и размеры сварочной ванны и парогазового канала, термические циклы и фазовый состав материала как в зоне шва, так и в зоне термического влияния. Другой вопрос, что не существует обоснованной теории, позволяющей рассчитывать механические свойства материалов даже при известных параметрах структуры и фазовом составе.

3. Вызывает удивление использование для экспериментов CO₂ лазера, тогда как в последнее десятилетие практически полностью произошел переход лазерной сварки на волоконные лазеры. Также удивителен диапазон мощностей излучения и ограничение скорости сварки в исследовании, что, по-видимому, связано с вышеупомянутым выбором CO₂ лазера. И с этим же,

по-видимому, связано то, что автор практически не использовал импульсно-периодические режимы сварки, и соответственно, не включил параметры импульсного режима в схему оптимизации процесса. Повышение мощности лазерного излучения до 14-16 кВт с соответствующим повышением скорости сварки до порога хампинга позволило бы существенно ужесточить термический цикл и повысить, соответственно, качество сварного соединения алюминиевого сплава, сократив испарение легирующих и время диффузионной активности.

4. Вызывает вопросы выбранная автором схема сварки без использования присадочной проволоки. Известно, что использование присадочных проволок, легированных магнием, цинком и скандием, позволяет существенно повысить качество сварных швов и получить металл шва не уступающий основному металлу по механическим свойствам, хотя и отличающийся от него по химическому составу.

Указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы в целом, которая посвящена актуальному направлению получения высокопрочных лазерных сварных соединений термически упрочняемых алюминиевых сплавов.

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Разработанные научные основы технологии лазерной сварки современных термически упрочняемых алюминиевых и алюминий-литиевых сплавов позволили получить прочностные свойства сварных соединений, близких или равных исходным сплавам.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук и отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Считаю, что автор диссертации, Маликов Александр Геннадьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор

Г.А. Туричин

3 ноября 2021 г.

Сведения о составителе отзыва

Ректор,

Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,
Россия, 190121, Северо-Западный Федеральный округ,

г. Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3,

тел. 8 (812)714-07-61,

E-mail:office@smtu.ru, <https://>

Подпись Туричина Г. А. за
ученый секретарь СПбГМТ
к.т.н.

А.И. Фрумен

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, Туричин Глеб Андреевич, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Маликова Александра Геннадьевича на тему: Управление механикой структурно-фазового состава высокопрочных лазерных сварных соединений термически упрочняемых алюминиевых сплавов на соискание ученой степени *доктора технических наук* по специальности 1.1.9 (01.02.05) – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю: доктор технических наук по научной специальности «Технологии и машины сварочного производства», доцент.

Тел: 8 (812)714-07-61, E-mail: office@smtu.ru.

Ректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет».

Адрес служебный: улица Лоцманская, дом 3, г. Санкт-Петербург 190121, тел. 8 (812)714-07-61, E-mail: office@smtu.ru, <https://www.smtu.ru>.

По теме рассматриваемой диссертации имею 92 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1) Особенности строения сварных швов, сформированных лазерной сваркой разнородных сплавов на основе титана и алюминия. Туричин Г.А., Никулина А.А., Смирнов А.И., Климова-Корсмик О.Г., Бабкин К.Д.// *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2017. № 8 (746). С. 62-67.

2) Влияние электростатического поля на процесс лазерной термообработки металлов. Туричин Г.А., Башмаков Д.А.// *Вектор науки тольяттинского государственного университета*, №8(44), 2018, с. 6-13.

3) Гибридная лазерно-дуговая сварка сверхвысокопрочных сталей: влияние химического состава металла шва на микроструктуру и механические свойства стали. (анг.яз.) Туричин Г.А., Кузнецов М.В., Климова-Корсмик О.Г., Куракин А., Поздняков А.// *Procedia CIRP* 74, 2018, с. 752-756.

4) Структура и свойства изделий из титанового сплава Ti-6Al-4V (Вт6), полученного методом прямого лазерного выращивания и последующей термообработкой. (анг.яз.) Туричин Г.А., Климова-Корсмик О.Г., Шальнова С.А., Гущина М.О., Чеверикин В.В.// *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1109, conference 1, 2018, doi :10.1088/1742-6596/1109/1/012061.

5) Влияние технологических параметров на структуру и свойства выращиваемых изделий из сплава ВТ6. Туричин Г.А., Климова-Корсмик О.Г., Шальнова С.А., Скляр М.О.// В сборнике: Пром-Инжиниринг. Труды IV международной научно-технической конференции. 2018. С. 181-184.

6) Распределение напряжений многослойных толстостенных изделий сплава ТI-6AL-4V при прямом лазерном выращивании. (анг.яз.) Туричин Г., Иванов С., Земляков Е., Бабкин К., Карпов И., Эм В., Рылов С.//Procedia Manufacturing. 17. Сер. "17th Nordic Laser Materials Processing Conference, NOLAMP 2019" 2019. С. 240-248.

7) Получение металломатричных композиционных материалов с применением аддитивной технологии прямого лазерного выращивания. Туричин Г.А., Промахов В.В., Жуков А.С., Зиатдинов М.Х., Жуков И.А., Шульц Н., Ковальчук С., Корсмик Р.С., Климова-Корсмик О.Г.//В сборнике: Аддитивные технологии: настоящее и будущее. Материалы V международной конференции. 2019. С. 317-335.

8) Микроструктура и механические свойства холодостойкой стали при прямом лазерном выращивании для применения в Арктике. (анг.яз.) Туричин Г.А., Мендагалиев Р., Климова-Корсмик О.Г., Зотов О.Г., Еремеев А.Д. // В сборнике: Procedia Manufacturing. 17. Сер. «17th Nordic Laser Materials Processing Conference, NOLAMP 2019» 2019. С. 249-255.

9) Фазовые и структурные преобразования в термостойких сплавах при прямом лазерном выращивании. (анг.яз.) Туричин Г.А., Бузак Н., Хассель Т., Кислов Н.Г., Климова-Корсмик О.Г., Магеррамова Л.А.// Key Engineering Materials. 2019. Т. 822. С. 389-395.

10) Анализ напряженно-деформированного состояния стенки из титанового сплава вт6, полученной методом прямого лазерного выращивания. Туричин Г.А., Иванов С.Ю., Бабкин К.Д., Земляков Е.В., Топалов И.К., Карпов И.Д., Эм В.Т.// Фотоника. 2019. Т. 13. № 7. С. 634-640.

11) Аналитическая модель нагрева и плавления присадочной проволоки в процессе лазерного выращивания из проволоки. (анг.яз.) Туричин Г.А., Мукин Д.В., Иванов С.Ю., Валдайцева Е.А., Бенияш А. // Key Engineering Materials. 2019. Т. 822. С. 431-437.

12) Структура и свойства изделий из титанового сплава вт6, полученных методом прямого лазерного выращивания с использованием вторичного порошка. Туричин Г.А., Шальнова С.А., Климова-Корсмик О.Г., Гущина М.О., Вильданов А.М.// Титан. 2019. № 4 (66). С. 24-31.

13) Прогнозирование и компенсация искажений при прямом лазерном выращивании большой асимметричной детали из сплава ТI-6AL-4V. (анг.яз) Туричин Г.А., Бабкин К.Д., Земляков Е.В., Иванов С.Ю., Вильданов А.М., Топалов И.К. //В сборнике: Procedia CIRP. 11. Сер. «11th CIRP Conference on Photonic Technologies, LANE 2020», 2020, С. 357-361.

14) Формирование формы, структуры и механических свойств холодостойкой высокопрочной стали, полученной методом прямого лазерного выращивания. (анг.яз.) Туричин Г.А., Задьян Г.Г., Корсмик Р.С., Мендгалиев Р.В.//Solid State Phenomena. 2020. Т. 299. С. 345-350.

15) Сравнительный анализ формирования гамма-штрих фазы в никелевых сплавах в процессе аддитивного производства. (анг.яз.) Туричин Г.А., Климова-Корсмик О.Г., Валдайцева Е.А., Алексеев А.В., Рашковец М.В. // В сборнике: Procedia CIRP. 11. Сер. "11th CIRP Conference on Photonic Technologies, LANE 2020" 2020. С. 320-323.

16) Влияние параметров процесса прямого лазерного выращивания на качество многослойной однопроходной стенки из титанового сплава Ti-6Al-4V. (анг.яз.) Туричин Г.А., Шальнова С.А., Климова-Корсмик О.Г., Гущина М.О.//Solid State Phenomena. 2020. Т. 299. С. 716-722.

17) Моделирование процесса роста интерметаллидного включения Ni₃Al в процессе прямого лазерного выращивания с использованием порошка из никелевых суперсплавов. (анг.яз.) Туричин Г.А., Алексеев А.В., Климова-Корсмик О.Г., Валдайцева Е.А, Рашковец М.В., Никулина А.А.//В сборнике: Materials Today: Proceedings. 2019 International Scientific Conference on Materials Science: Composites, Alloys and Materials Chemistry, MS-CAMC 2019. Amsterdam, 2021. С. 756-760.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

21.10.2021

Г.А. Туричин