

МИНОБНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное –
образовательное учреждение высшего
образования «Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева»
(НГТУ)

ПРОРЕКТОР ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603155
Тел. / факс (831) 436-23-37
E-mail: aakurkin@nntu.ru www.nntu.ru

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537
ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

24.11.2023 № 03-04/211

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Доктор физико-математических наук
Профессор

А.А. Куркин



2023

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Казакова Михаила Сергеевича на тему: «Улучшение структуры и свойств алюминиевых сплавов для изделий перспективной ракетно-космической техники совершенствованием режимов технологических воздействий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность темы исследования

Ракетно-космическая техника (РКТ) является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности. Современные ракеты-носители и космические аппараты должны отвечать самым высоким требованиям по прочности, надежности и эксплуатационным характеристикам. Для их создания используются различные материалы, среди которых особое место занимают алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими металлическими материалами, используемыми в РКТ, такими как сталь и титан. Они имеют высокую прочность, легкость, хорошую свариваемость и коррозионную стойкость. Однако, для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик алюминиевых сплавов необходимо тщательно подбирать их состав и структуру, а также применять оптимальные режимы технологических воздействий.

Задачи по развитию ракетно-космической техники не могут быть решены без использования в перспективных разработках материалов с улучшенной структурой и свойствами, совершенствования и оптимизации применяемых методов их обработки,

внедрения прогрессивных технологических процессов. Улучшение структуры и свойств алюминиевых сплавов позволит создавать более легкие и прочные конструкции, что особенно важно для космических кораблей и спутников. Совершенствование режимов технологических воздействий, включая метод сварки трением с перемешиванием (СТП), позволит улучшить качество изделий, оптимизировать технологические процессы и повысить надёжность конструкций. Результаты исследований, проведенных в рамках данной диссертации, могут быть использованы при внедрении новых материалов и технологий в ракетно-космической отрасли.

В связи с этим актуальность и практическая значимость диссертационной работы Казакова М.С. не вызывает сомнений; целью работы является разработка методов совершенствования режимов технологических воздействий в процессах получения отливок, сварки, деформирования и термической обработки изделий РКТ из алюминиевых сплавов, обеспечивающих улучшение их структуры и свойств.

Для достижения поставленной цели в работе определены условия эксплуатации РКТ, формирующие требования к материалам и технологиям, причины возникновения брака при изготовлении деталей и узлов, выявлены закономерности формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления РКТ в процессе различных видов технологических воздействий, проведено комплексное металлургическое исследование перспективного экономнолегированного сплава системы Al-Mg-Sc и сварных соединений из данного сплава, полученных методом СТП, а также установлены возможности по выявлению характерных дефектов сварного шва методами неразрушающего контроля; выполнена апробация и внедрение разработанных режимов технологических воздействий в условиях действующего производства.

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна работы состоит в установлении новых закономерностей формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов, применяемых при изготовлении РКТ, при варьировании режимов технологических воздействий в процессах получения отливок, сварки, деформирования и термической обработки.

В работе установленное влияние структурно-фазового состояния исходных пихтовых материалов на формирование структуры, свойств и дефектов в отливках сплава системы Al-Si-Mg. Показано, что исходная структура пихтовых материалов оказывает существенное влияние на качественные характеристики изделий. Для исключения

негативного влияния включений пластин фазы переменного состава $Al_xSi_yFe_zMn_q$ рекомендовано использовать сплав в предварительно модифицированном состоянии.

В работе изучены новые особенности кинетики старения сплавов системы Al-Cu-Mg при реализации выдержки после закалки при отрицательной температуре; определены инкубационный период до начала процессов интенсивного упрочнения сплавов и влияние выдержки при отрицательной температуре на механические свойства. Выявлено влияние ускоренного старения при повышенных температурах на механические свойства и коррозионную стойкость сплава системы Al-Mg-Si-Cu. Впервые установлено, что свежезакаленное состояние листовых заготовок можно сохранить определенное время, помещая их немедленно после закалки в условия отрицательных температур: так при температуре $-10^{\circ}C$ оно сохраняется до 48 часов. Время выдержки при комнатной температуре (инкубационный период) до начала ускоренного процесса естественного старения после закалки и выдержки при отрицательных температурах, обеспечивающей сохранение свежезакаленного состояния, составляет 3 часа для сплава Д1 и 2 часа для сплава Д16. Задержка процесса естественного старения выдержкой при отрицательных температурах после закалки алюминиевых сплавов Д1 и Д16 не понижает их конечные механические свойства. В рамках исследований было выявлено, что проведение ускоренного старения горячедеформированных заготовок из сплава АК6 при температуре $175^{\circ}C$ в течение 3 часов позволяет достичь механических свойств, соответствующих требованиям ОСТ 1.90073-85, а также повышенной коррозионной стойкости по сравнению с традиционным режимом старения при температуре $160^{\circ}C$ в течение 12 часов.

В работе впервые установлены причины изменения микроструктуры, падения пластических свойств и разрушения сварных герметизирующих деталей термостабилизирующих систем космических аппаратов, изготавливаемых из сплава системы Al-Mg-Si. Рассмотрены случаи разрушения деталей из сплава АД31 в термически упрочненном состоянии, используемых при заправке и герметизации тепловых труб термостабилизирующих систем космических аппаратов, в процессе их обжатия после окончания заправки. Установлено, что причиной образования трещин на торцевых поверхностях штуцеров является снижение пластичности и деформируемости сплава, что обусловлено трансформацией зонносостаренного состояния сплава в состояние с присутствием выделений фазового типа.

В работе впервые выявлены закономерности влияния температуры на механические свойства перспективного экономно-легированного сплава Al-Mg-Sc в

отожженном и нагартованном состоянии деформированных полуфабрикатов (плиты, листы, поковки); выполнена оценка коррозионной стойкости и изменения механических свойств во времени. Установлено, что структура сплава системы Al-Mg-Sc представлена преимущественно твердым раствором α (Al) с выделениями фаз в виде дисперсоидов переходных металлов размером менее 1 мкм. Механические испытания показали высокий уровень механических свойств для катанных полуфабрикатов из сплава системы Al-Mg-Sc. Отмечается, что свойства заготовок, полученных методомковки, существенно ниже, чем у проката, что связано с низкой степенью проработанности структуры в процессе деформации и свидетельствует о необходимости совершенствования технологииковки. Для исследуемого сплава наблюдается увеличение как прочности, так и пластичности при температуре -196°C . Выявлена возможность установить 14 летний срок сохраняемости свойств сплава системы Al-Mg-Sc в условиях хранения изделий с учетом возможного снижения механических характеристик. Испытания коррозионных свойств показали склонность нагартованных плит к межкристаллитной коррозии, связанной с напряженным состоянием сплава.

В работе выявлено влияние режимов сварки трением с перемешиванием на структуру и свойства сварных соединений катанных полуфабрикатов из сплава системы Al-Mg-Sc в диапазоне температур от -196 до 200°C . Из результатов опробования режимов СТП для нагартованных плит толщиной 25 мм было установлено, что особенности структуры могут приводить к возникновению специфических дефектов. Для плит толщиной 25 мм из сплава Al-Mg-Sc в нагартованном состоянии были рекомендованы режимы сварки, включающие в себя: скорость перемещения инструмента – 50 мм/мин, скорость вращения инструмента – 150-170 об/мин, угол атаки – $2-3^{\circ}$, усилие прижима – 65-70 кН. Оценка статических механических свойств показала, что коэффициент прочности для данных режимов сварки составляет 83% при комнатной температуре и 90% при -196°C . По результатам ускоренных климатических испытаний выявлено снижение прочности сварных соединений плит при СТП в долевом направлении до 10%. После испытаний на коррозионную стойкость установлена склонность сварных соединений СТП к межкристаллитной коррозии.

В работе исследованы характерные внутренние дефекты сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, определена степень их влияния на эксплуатационные свойства, а также оценены возможности выявления дефектов методами неразрушающего контроля. Установлено, что вероятность образования структурных

дефектов сварного шва определяется технологическими режимами СТП, при этом даже дефекты, имеющие незначительные размеры и разориентировку, существенно понижают конечные механические свойства. Рациональное сочетание методов неразрушающего контроля, включающее эхо-импульсный метод с датчиком на фазированных решетках совместно с дифракционно-временным методом, позволяет эффективно контролировать качество сварных соединений в изделиях, получаемых по особо важным критичным технологиям. В случае выявления при визуальном контроле факта отклонения от технологического процесса сварки, в качестве экспертных методов должны применяться метод рентгенографии и капиллярный контроль, позволяющие расширить возможности ультразвуковых методов в части выявления дефектов малого раскрытия и их точной координации.

Практическая значимость полученных автором результатов диссертационной работы

В процессе выполнения диссертационного исследования установлено:

- традиционные методы подавления образования хрупких пластин железосодержащей фазы в сплаве системы Al-Si-Mg (AK9) за счет обязательного присутствия в химическом составе сплава Mn, в случае их наследования из исходного материала, неэффективны. Для повышения качества отливок рекомендовано использовать для приготовления шихты чушки с предварительно модифицированной структурой, в которой отсутствуют включения пластин фазы переменного состава $Al_xSi_yFe_zMn_q$, что позволило снизить уровень брака на 25%;
- для сплавов системы Al-Cu-Mg (Д16, Д1) выявлена возможность сохранения свежезакаленного состояния деформируемости выдержкой при отрицательных температурах с последующим формированием оптимальных механических свойств при естественном старении, также показана возможность применения режимов ускоренного старения деталей из сплава системы Al-Mg-Si-Cu (AK6), позволяющая получить высокий уровень механических свойств и коррозионной стойкости при сокращении длительности цикла термической обработки на 65%;
- оптимальные параметры изготовления сварных деталей для термостабилизирующих систем из сплава АД31, подвергающихся холодной пластической деформации, исключающие разрушение;
- зависимость механических свойства деформированных полуфабрикатов из перспективного экономнолегированного сплава системы Al-Mg-Sc и сварных соединений из них от температуры в диапазоне -196 до 200 °С. По результатам ускоренных

климатических испытаний, имитирующих хранение в течение 14 лет, выявлено снижение на листовых полуфабрикатах в долевом направлении относительного удлинения отдельных образцов до 32 % и снижение на нагартованных плитах в долевом направлении предела прочности до 10 %. Для сварных соединений СТП имитация хранения в течение 14 лет показала снижение σ_B сварных соединений плит в долевом направлении до 10 %. Продемонстрирована возможность получения сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с коэффициентом прочности для отожжённых листов из сплава Al-Mg-Sc 90%, а для нагартованных плит из сплава Al-Mg-Sc 85-90%. Полученные результаты позволяют прогнозировать поведение сплава в реальных конструкциях;

- основные виды дефектов, характерные для сварки трением с перемешиванием катаных полуфабрикатов из сплава Al-Mg-Sc и не выявляемые визуально, а также степень их влияния на прочностные характеристики сварного соединения. Рассмотрены особенности неразрушающего контроля данных сварных соединений применительно к изделиям ракетно-космической техники, разработаны рекомендации по применению эхо-импульсного ультразвукового контроля с применением фазированных антенных решеток и его сочетание с рентгенографией, капиллярным контролем и дифракционным временным ультразвуковым контролем.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию в действующем производстве и внедрены в технологические процессы и операции контроля качества в АО РКЦ «Прогресс».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты и выводы, представленные в диссертационной работе Казакова М.С., могут быть использованы на машиностроительных предприятиях, производящих ракетно-космическую технику, для обеспечения ее повышенной надежности, при разработке новых изделий, снижения уровня брака, модернизации и оптимизации технологических процессов термической обработки, деформации, литья и сварки; а также в высших учебных заведениях (ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет (г. Самара), ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (г. Нижний Новгород) и др.) при подготовке бакалавров и магистров.

По теме диссертационной работы Казакова М.С. опубликовано 9 научных публикаций, в том числе 6 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, из которых 2 статьи в журналах, соответствующих научной специальности 2.6.17, имеющих категорию

К2. Количество и уровень публикаций Казакова М.С. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Результаты, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию на конференциях различного уровня.

Структура, объем и краткое содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 185 наименований. Диссертация изложена на 209 страницах текста машинописного текста, включает 99 рисунков и 27 таблиц, 1 приложение.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, подтверждена достоверность результатов работы, указан личный вклад автора в выполненные в работе исследования. Проводятся сведения об апробации работы и публикациях, структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ условий эксплуатации ракетно-космической техники и определены требования к конструкциям. Также проведен обзор научно-технических идей в области технологий получения и обработки деталей и узлов для ракет-носителей и космических аппаратов. Определены технологические процессы и современные сплавы, которые планируется внедрить в перспективных разработках ракетно-космической техники. Проведен обзор актуальных проблем, связанных с освоением технологии СТП для несущих конструкций РКТ. Также рассмотрен вопрос современного состояния методологии контроля сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе описаны материалы, методы и методики исследований. Изложены методические особенности проведения экспериментальных режимов технологических воздействий, выполненных структурных, физико-механических исследований, оценки коррозионной стойкости, методика получения сварных швов методом СТП.

В третьей главе проведено исследование по улучшению структуры и свойств алюминиевых сплавов для изготовления перспективной ракетно-космической техники путем оптимизации технологических режимов. Выявлены причины повышенного уровня брака отливок из сплава Al-Si-Mg (AK9) и показано влияние структуры шихтовых материалов на качество изделий. Показано, что использование данного сплава в предварительно модифицированном состоянии, позволяет исключить негативное влияние включения пластин фазы переменного состава $Al_xSi_yFe_zMn_q$.

Изучены особенности кинетики старения сплавов системы Д1 и Д16 при пониженных температурах, а также влияние выдержки при этих температурах на механические свойства в процессе естественного старения. Было установлено, что ускоренное старение горячедеформированных заготовок из сплава АК6 при температуре 175 °С в течение 3 часов обеспечивает механические свойства, соответствующие требованиям ОСТ 1.90073-85, и повышенную коррозионную стойкость по сравнению с традиционным режимом старения при температуре 160 °С в течение 12 часов. Выявлены причины разрушения штуцеров из сплава АД31Т, используемых для заправки и герметизации тепловых труб термостабилизирующих систем космических аппаратов, в процессе их обжата после заправки. Установлено, что данная проблема связана со снижением пластичности и деформируемости сплава после термического воздействия в процессе сварки, что обусловлено трансформацией зонносостаренного состояния сплава в состояние с присутствием выделений фазового типа.

В **четвертой главе** выполнены исследования перспективного экономнолегированного сплава системы Al-Mg-Sc. Описана характерная микроструктура сплава, которая зависит от условий деформации, а также приводятся значения механических свойств в интервале температур от -196°С до 200°С и результаты испытаний на сохраняемость механических свойств. Структура сплава состоит преимущественно из твердого раствора α (Al), а также наблюдаются фазы в виде дисперсоидов переходных металлов размером менее 1 мкм. Отмечаются существенные отличия в условиях деформации для катанных полуфабрикатов. Степень деформации зерен в катаной плите составляет $\approx 90\%$, при этом сохраняются грубые границы зерен, а в листе от 98% до 99%. Испытания выявили высокий уровень механических свойств для катанных полуфабрикатов из сплава системы Al-Mg-Sc. Исследуемый сплав обладает уникальным сочетанием свойств, так как одновременно наблюдается увеличение как прочности, так и пластичности с понижением температуры испытаний. Результаты ускоренных климатических испытаний показали, что свойства сплава системы Al-Mg-Sc сохраняются в течение 14 лет в условиях хранения изделий, с учетом возможного снижения механических характеристик. Испытания коррозионных свойств показали стойкость к общей коррозии, коррозии под напряжением, расслаивающей коррозии, при этом для нагартованных плит выявлена склонность к межкристаллитной коррозии, что требует учета данного факта и, как следствие, разработки мероприятий по защите поверхности изделий из плит в процессе их изготовления и хранения.

В **пятой главе** диссертации исследована технология сварки трением с перемешиванием полуфабрикатов из экономнолегированного сплава системы Al-Mg-Sc.

Изучены особенности технологии неразрушающего контроля изделий, полученных с использованием СТП. В ходе исследования проанализированы особенности структурообразования сварных швов в зависимости от режимов СТП и влияние температуры испытания на механические свойства, их сохраняемость в процессе ускоренных климатических испытаний, а также приведены данные о коррозионной стойкости сварных соединений СТП. По результатам опробования режимов СТП для нагартованных плит толщиной 25 мм установлено, что особенности структуры определяют возможность возникновения специфических для данного вида сварки дефектов. Исследование сварного соединения с дефектом канального типа выявило существенную неоднородность сварного шва, разделяющую шов на две зоны – подповерхностную и основную. При этом отмечается, что перемешивание в основной зоне осуществляется по оси сварного шва и имеет в целом плотную, хорошо спрессованную «луковичную» структуру. Подповерхностная зона шва имеет неплотную и неоднородную структуру с различными центрами перемешивания. Установлено, что для сварки плит толщиной 25 мм из сплава Al-Mg-Sc в нагартованном состоянии для обеспечения плотной однородной структуры могут быть рекомендованы режимы, включающие в себя: скорость перемещения инструмента – 50 мм/мин, скорость вращения инструмента – 150-170 об/мин, угол атаки – 2-3°, усилие прижима – 65-70 кН. Оценка механических свойств показала, что коэффициент прочности для данного вида сварки составляет 33% при комнатной температуре, а при -196°С его значение составляет 90%. В процессе ускоренных климатических испытаний выявлено снижение σ_b сварных соединений плит при сварке трением в долевом направлении до 10 %. По результатам испытания коррозионной стойкости установлена склонность сварных швов СТП к межкристаллитной коррозии. Вероятность образования структурных дефектов сварного шва определяется технологическими режимами СТП. Показано, что сочетание методов неразрушающего контроля, включающее эхо-импульсный метод с датчиком на фазированных решетках совместно с дифракционно-временным методом, позволяет эффективно контролировать качество сварных соединений СТП. В случае выявления при визуальном контроле факта отклонения от технологического процесса сварки, в качестве экспертных методов должны применяться метод рентгенографии и капиллярный контроль, позволяющие расширить возможности ультразвуковых методов в части выявления дефектов малого раскрытия и их точной координации.

В **заключении** обобщены результаты работы и представлены выводы.

Эти результаты свидетельствуют о том, что в работе решена проблема повышения надежности деталей и узлов ракетно-космической техники за счет применения режимов технологических воздействий, обеспечивающих улучшенные структуру и свойства алюминиевых сплавов.

Установленные закономерности в формировании структуры и свойств алюминиевых сплавов, полученные в рамках диссертационного исследования, позволили предложить эффективные способы получения заготовок, сварных соединений и режимов термической обработки и деформации.

В **приложении** представлен акт о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы в производственной деятельности АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений, приводимых в диссертационной работе Казакова М.С., подтверждается значительным объемом экспериментальных данных, применением современного испытательного оборудования, использованием аттестованных методов и методик. Имеет место достаточная сходимости экспериментальных результатов и теоретических данных, результаты не противоречат известным исследованиям других авторов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам

В диссертационной работе Казакова М.С. выполнены все требования, предъявляемые к диссертационным работам. Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Диссертация написана грамотным, доступным техническим языком, что подтверждает высокую эрудицию и квалификацию автора.

Замечания по диссертационной работе

1. Литературный обзор перегружен сведениями, не несущими практического смысла для темы работы. Например, в п.2.1 приведены исторические сведения про алюминий и способы использования, а также информация о различных сплавах не рассматриваемых в данной диссертации.
2. Представленная в автореферате и диссертации формулировка задач исследования не совсем корректна. Задачи исследования должны быть поставлены в соответствии с целью работы и затем уже решены с помощью

- различных методик исследований; на этом основании пишутся соответствующие выводы. Автор же в своей формулировке приводит решенные задачи, то есть фактически сделанные выводы по работе.
3. Формулировка некоторых задач исследования практически полностью совпадает с новизной работы. Например, задача №2 согласно тексту: «Установлены особенности влияния структурно-фазового состояния исходных шихтовых материалов на формирование структуры, свойств и дефектов в отливках сплава системы Al-Si-Mg», полностью соответствует новизне «Установлено влияние структурно-фазового состояния исходных шихтовых материалов на формирование структуры, свойств и дефектов в отливках сплава системы Al-Si-Mg»
 4. В методике выполнения работы в табл. 2.1 приведено процентное соотношение исходных материалов для получения отливок из АК9ч, однако объяснение какими соображениями руководствовался автор, выбирая данное соотношение отходов собственного производства и сырья разных производителей для изготовления сплава, в тексте отсутствует.
 5. На стр. 64 диссертации в методике выполнения работы приводится схема замера микротвердости на штуцере. Однако сведений про условия проведения испытания (нагрузка, время, прибор) в тексте нет.
 6. На подрисуночной подписи к рис. 3.5 диссертации указаны различные фазы, присутствующие в сплаве, однако на самой фотографии микроструктуры никак не обозначены.
 7. На стр. 93 диссертации говорится о несущественности влияния исследованных режимов старения на микроструктуру сплавов системы Al-Mg-Si-Cu. Данный вывод является бездоказательным, так как сравнение микроструктур проводилось при $\times 1000$ и осуществлялось, по-видимому, визуально. Для получения корректных выводов необходимо проведение количественного микроструктурного анализа в разных полях зрения и при меньшем увеличении.
 8. В работе отсутствует объяснение на каком основании для торможения процессов старения была выбрана температура именно -10°C , а, например, не более низкая или проще технологически осуществимая.
 9. На графиках зависимостей механических свойств отсутствуют доверительные интервалы, что может привести к недостоверности, полученных на основе приведенных зависимостей, выводов. В методике выполнения работы также отсутствует раздел, посвященный оценке погрешности измерений.

10. На рис.4.1 сравниваются фотографии, полученные при разных увеличениях.
11. Подпись к рис.4.5 диссертации: «Фазы в структуре сплава на границах зерен: а) кремнийсодержащая фаза; б) эвтектика «Al-Si» - некорректна, так как эвтектика не является фазой, это структурная составляющая.
12. В работе отсутствует теоретическое объяснение зависимостей механических свойств от температуры испытания (рис.4.6 - 4.8). Непонятно, с чем связано немонотонное поведение относительного удлинения от температуры испытания, и почему именно при комнатной температуре наблюдается провал, а при более низких увеличивается ресурс пластичности, ведь исходная плотность дислокаций в любом случае одинакова? Почему повышение температуры до 200°C (рис.4.6) приводит к резкому увеличению прочности на катаном листе, в то время как другая прочностная характеристика - предел текучести - уменьшается?

Заключение

Однако отмеченные недостатки существенно не снижают теоретической и практической значимости выполненных исследований, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным цели и задачам.

В целом диссертационная работа Казакова М.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, а именно по улучшению структуры и свойств алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления изделий ракетно-космической техники, в процессах термической обработки, деформации, литья и сварки, имеющие важное значение для развития материаловедения и машиностроения.

По объему полученных результатов и научной значимости диссертационная работа Казакова М.С. удовлетворяет всем требованиям, в том числе п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Казаков Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Казакова М.С. на заседании кафедры «Материаловедение, технологий материалов и термическая обработка металлов» (МТМиТОМ) Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (протокол № 10 от «20» ноября 2023 г. Результаты голосования: За -18, Против -нет, Воздержались - нет).

Даем согласие на включение персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Казакова М.С. и их дальнейшую обработку.

Доцент кафедры «Материаловедение, технология материалов и термическая обработка металлов», кандидат технических наук (05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), доцент



Маргарита Николаевна Чеэрова

Доцент кафедры «Материаловедение, технология материалов и термическая обработка металлов», кандидат технических наук (05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), доцент

ка

Михаил Константинович Чегуров

Секретарь кафедры «Материаловедение, технология материалов и термическая обработка металлов»

отка



Елена Всеволодовна Сибирякова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24. Тел./факс 8 (831) 436-63-22
E-mail: mtnm@nntu.ru

Подписи Чеэровой М.Н., Чегурова М.К., Сибиряковой Е.В. заверяю, Директор Института физико-химических технологий и материаловедения НГТУ им. Р.Е. Алексеева



Ж.В. Мацулевич

21.11.2023г.