

Заключение диссертационного совета 31.1.002.01, созданного на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ), Российская Федерация, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «03» сентября 2026 г. № 17

О присуждении Ахмедзянову Максиму Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка состава и химико-термической обработки нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава для тонкостенных деталей газотурбинных двигателей» по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите «25» июня 2026 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Ахмедзянов Максим Вадимович, «22» декабря 1988 г.р.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», присвоена квалификация инженер по специальности «Материаловедение в машиностроении». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ (№2025/16 от 15.07.2025).

Ахмедзянов Максим Вадимович с марта 2011 г. работал в должности инженер, с марта 2014 г. в должности инженер 2 категории, с августа 2017 г. в должности инженер 1 категории, с марта 2020 г. в должности ведущий инженер, с марта 2025 г. работает начальником сектора в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в лаборатории № 603 «Жаропрочные сплавы на никелевой основе».

Диссертация выполнена в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в лаборатории № 603 «Жаропрочные сплавы на никелевой основе».

Научный руководитель – кандидат технических наук, Овсепян Сергей Вячеславович – заместитель начальника лаборатории по науке лаборатории № 603 «Жаропрочные сплавы на никелевой основе» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

– Банных Игорь Олегович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика Н.Т. Гудцова федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук;

– Смирнов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение», заведующий лабораторией «Термическая и

химико-термическая обработка» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой «Технологии конструкционных материалов», доцентом, доктором технических наук Фатюхиным Дмитрием Сергеевичем и утвержденном проректором по научной работе ФГБОУ ВО «МАДИ» Мазлумяном Григорием Сергеевичем, указала, что по актуальности, уровню и объему проведенных исследований, глубине анализа, научной новизне и практической значимости диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также паспорту научной специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», а ее автор, Ахмедзянов Максим Вадимович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из которых 7 включены в перечень ВАК при Минобрнауки России, 12 работ в сборниках трудов научных конференций. Получен 1 патент Российской Федерации.

В опубликованных работах содержатся основные научные и практические результаты, изложенные в диссертационной работе соискателя. Все работы выполнены в соавторстве. Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, сборе и интерпретации данных, разработке научно-технической документации.

Список основных трудов по теме диссертации опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Ахмедзянов М.В., Овсепян С.В., Родин А.О., Ломберг Б.С., Расторгуева О.И. Кинетика высокотемпературного азотирования и свойства сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti //Металловедение и термическая обработка металлов, 2022. № 4. С. 45–49. (№167), – DOI: 10.30906/mitom.2022.4.45-49;
2. Овсепян С.В., Колобов Ю.Р., Ахмедзянов М.В., Манохин С.С., Филонова Е.В. Исследование нитридной фазы в жаропрочном сплаве системы Ni-Co-W-Ti, упрочняемым внутренним азотированием // Физика и химия обработки металлов, 2021. № 2. С. 63–71 – DOI: 10.30791/0015-3214-2021-2-63-71;
3. Лукина Е.А., Овсепян С.В., Давыдова Е.А., Ахмедзянов М.В. Структурные особенности жаропрочного сплава на Ni-Co-Cr основе, упрочняемого внутренним азотированием // Цветные металлы. 2016. № 7. С. 76–82, – DOI: 10.17580/tsm.2016.07.10;
4. Овсепян С.В., Бокштейн Б.С., Ахмедзянов М.В., Родин А.О., Мазалов И.С. Кинетика роста частиц нитридов в процессе высокотемпературного объемного азотирования деформируемого сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti //Материаловедение. 2014. №6. С. 21–25;
5. Овсепян С.В., Ахмедзянов М.В., Мазалов И.С., Расторгуева О.И. Легирование углеродом сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti, упрочняемого химико-термической обработкой //Авиационные материалы и технологии. 2015. № 4. С.21–24, – DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-21-24;
6. Ахмедзянов М.В., Овсепян С.В., Расторгуева О.И., Давыдова Е.А. Влияние легирующих элементов на жаростойкость деформируемых Ni-Co сплавов с нитридным упрочнением //Коррозия: материалы, защита. 2015. № 12. С. 21–25;
7. Ахмедзянов М.В., Скугорев А.В., Овсепян С.В., Мазалов И.С. Разработка ресурсосберегающей технологии получения холоднокатаного листа из высокожаропрочного свариваемого сплава ВЖ171 //Производство проката. 2015. №1. С. 14–17;

Патент Российской Федерации:

1. Жаропрочный свариваемый сплав на основе кобальта и изделие, выполненное из него / Е.Н. Каблов, М.В. Ахмедзянов, С.В. Овсепян, И.С. Мазалов, Б.С. Ломберг, О.И. Расторгуева, Д.М. Князев; патентообладатель НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. № 2601720; заявл. 05.08.2015 – С. 7.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию ведущей организации (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»), подписан заведующим кафедрой «Технологии конструкционных материалов», доцентом, доктором технических наук Фатюхиным Дмитрием Сергеевичем и утвержден проректором по научной работе ФГБОУ ВО «МАДИ», доцентом, доктором технических наук Мазлумяном Григорием Сергеевичем.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры «Технологии конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «МАДИ», протокол № 13 от 03 июля 2026 года. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- В работе показано, что образующиеся в процессе азотирования сплава ВЖ171 нестабильные нитриды хрома приводят к снижению прочностных и пластических характеристик, а в процессе предложенной после азотирования операции вакуумного отжига эти нитриды растворяются, характеристики повышаются. В разделе 3.1.1 есть описание, что нитриды хрома обнаружены в поверхностной зоне, но не указано, через какое время они там образуются, как и в центральной и переходной зонах, показанных на рисунке 35. Это затрудняет оценку оптимального времени азотирования сплава ВЖ171.

- Из описания к рисунку 22 непонятно, насколько правомерно проведена аппроксимирующая кривая уменьшения объемной доли нитридов ближе к центру образца, не представлен доверительный интервал измерений. Визуально

кажется, что на расстоянии 200-400 мкм от края образца есть плато с примерно равным количеством объемной доли нитридов.

- В разделе 3.2.1 фраза «видно, что ХТО повышает температуру солидуса более чем на 100 градусов» требует уточнения: либо «при оптимальном режиме ХТО» либо «после получения сквозного азотирования».

- В пятой главе указано, что высокотемпературное азотирование проводилось в обычной камерной печи в герметичном муфеле, что позволяет обходиться без приобретения специализированных лабораторных или промышленных печей азотирования. Однако не указаны размеры муфеля и максимальные габариты азотируемых изделий.

- Также в пятой главе указано, что разработана технология высокотемпературного азотирования заготовок, деталей и сварных узлов из сплава ВЖ171, но описание использованных видов сварки и влияния ХТО на свойства и структуру сплава отсутствуют.

- Автореферат содержит значительный объем исследований, который целесообразно сократить, оставив наиболее существенные результаты, – это позволит усилить акцент на научной новизне и практической значимости полученных результатов.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента - Банных Игоря Олеговича, доктора технических наук, члена-корреспондента РАН, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика Н.Т. Гудцова федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук.

Имеются замечания:

- На стр. 48 указывается: «Температура обработки - стандартная для сплава ВЖ171, указанная в паспорте на сплав и в действующей на тот момент технологической инструкции ТР 1.595-3-892-2010: на 150-200 °С ниже начала плавления (далее - стандартная температура)». Вместо столь сложной

формулировки необходимо просто привести температуру азотирования числом, в градусах Цельсия.

- На рисунке 17 стр. 52 представлена зависимость концентрации легирующих элементов сплава в сложных нитридах в зависимости от концентрации титана. В описании данных зависимостей говорится, что содержание титана и хрома обратно пропорционально друг другу. Это верно для центральной части образца. Однако в поверхностном слое явно наблюдается прямо пропорциональная зависимость концентраций титана и хрома. Объяснение этому эффекту не даётся.

- Для определения химического состава применяется метод ЭЗМА - электроннозондового микроанализа. Данный метод имеет ряд ограничений, в том числе по размеру элементов структуры, состав которых определяется. Так, при определении состава нитридов с площадью поверхности на шлифе менее 1 мкм^2 (и даже больших) в нём будут присутствовать элементы матрицы - в том числе кобальт и никель, практически не образующие нитридов. Автор знает об этой особенности метода, однако считает, что эти элементы входят в состав сложных нитридов. Действительно, никель и кобальт могут растворяться в ГЦК решётке TiN. Однако повышение их концентрации приведёт к изменению термодинамических параметров нитрида таким образом, что он будет диссоциировать при температуре азотирования. Отсутствует подтверждение того, что никель и кобальт содержатся в нитриде, а не захвачены из матрицы при проведении анализа.

- Остаётся неясным поведение углерода при азотировании и его влияние на свойства сплава. Очевидно, что диссоциация карбидов с последующим образованием нитридов, либо замещение углерода азотом с образованием карбонитридов, приведёт к вытеснению углерода в матрицу, с изменением её структурнофазового состояния. Следует отметить, что если в сплаве ВЖ171, рассматриваемом в главе 3, содержание углерода невелико, $\sim 0,1 \text{ ат. \%}$, то в рассматриваемом в главе 4 новом сплаве его количество увеличено в 10 раз, что уже может заметно влиять на структуру и свойства сплава.

- На рисунках 49 и 50 (стр. 100-101) отчётливо наблюдается строчечность карбонитридных выделений. Целесообразно было бы объяснить причины её возникновения и возможное влияние на свойства сплава.

- Исходя из приведённых на стр. 65 механических свойств видно, что азотирование даже при минимальной продолжительности приводит к падению пластических характеристик как при комнатной температуре, так и при испытаниях на длительную прочность при 1000 °С практически на порядок. Необходимо пояснить, насколько такое падение пластичности критично для реального применения материала. Также в приведённой таблице отсутствуют данные о размере нитридов, хотя в заголовке они обозначены.

- В работе не использовался такой метод исследования структурнофазового состояния, как рентгеноструктурный анализ. С его помощью можно было бы получить информацию о фазовом составе, параметрах решётки, объёмных эффектах фазовых превращений и возникающих вследствие них остаточных напряжениях. Это позволило бы существенно повысить качество и объём экспериментальных данных и более полно и достоверно изложить научные результаты исследования.

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента - Смирнова Андрея Евгеньевича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Материаловедение», заведующего лабораторией «Термическая и химико-термическая обработка» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Имеются замечания:

- Не установлены закономерности влияния легирования на физические свойства исследуемых композиций (температуры ликвидуса и солидуса, ТКЛР).

- Не указаны предельные габариты азотируемых изделий, что может ограничить применение сплавов, упрочняемых азотированием по всему объему.

- Недостаточно подробно раскрыт выбор температуры азотирования сплава ВЖ171.

Отзывы на автореферат:

1. Опытнo-конструкторское бюро имени А. Люльки - филиал публичного акционерного общества «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение» (ОКБ им. А. Люльки филиал АО «ОДК-УМПО»), подписан генеральным конструктором - директором ОКБ им. А. Люльки, членом-корреспондентом РАН, доктором технических наук, профессором Марчуковым Евгением Ювенальевичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- Не описан выбор температуры азотирования сплава ВЖ171, и как она влияет на получаемую структуру;

- В описании главы 4 указано, что «Решалась задача многокритериальной оптимизации состава с учетом ... фазовой стабильности». В качестве доказательства фазовой стабильности приведены только расчеты по Md_γ . Тут надо было также указать, что исследование было «теоретическим».

2. Акционерное общество «ОДК-Климов» (АО «ОДК-Климов»), подписан генеральным конструктором Продановым Евгением Степановичем, главным металлургом Кузьминым Олегом Вадимовичем, подписан заместителем главного конструктора по перспективным разработкам, кандидатом технических наук Липиным Алексеем Владимировичем, начальником лаборатории по исследованию материалов, кандидатом технических наук Музафаровой Светланой Викторией Рустамовной, подписан руководителем группы научных программ - секретарем НТС - Орловой Еленой Юрьевной. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- Из автореферата не ясна роль возможного упрочнения интерметаллидными частицами, такими как, например, Co_3Ta или $Ni_3(Ti, Nb)$ в $CoNi$ и $NiCo$ упрочняемых ХТО жаропрочных сплавах заданных составов наряду с нитридами и карбонитридами.

- Из автореферата не понятно, за счёт каких структурных факторов достигается приведённый высокий уровень прочностных свойств и жаропрочности для рассматриваемых сплавов, при том, что автором оговаривается, что, например, повышенное содержание молибдена оказалось неблагоприятным для жаропрочности и жаростойкости, а влияние ниобия в целом следует оценивать как неоднозначное и в большинстве рассмотренных случаев неблагоприятное.

- Из автореферата не понятно, за счёт чего для рассматриваемых кобальтовых сплавов достигается высокий уровень жаростойкости при температурах выше 900 °С? Является ли это следствием лишь эффекта синергического влияния легирования переходными металлами 4 и 5 групп (Ti, Hf, Ta) при поверхностном оксидном пленкообразовании, или это достигается оптимальным соотношением элементов Co: Ni: Cr металлоосновы?

3. Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (АО ГНЦ «Центр Келдыша»), подписан техническим директором, кандидатом технических наук Гореликовым Владимиром Николаевичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- не исследованы свойства композиций при циклических испытаниях.
- не приведены результаты жаростойкости выбранного состава по модели.

4. Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн» («ПАО «ОДК-Сатурн»), составлен и подписан главным металлургом опытного завода, кандидатом технических наук Редькиным Иваном Александровичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- Кроме TiN и Cr₂N не указана стехиометрия нитридов, которые образуются на основе ниобия, тантала, гафния и других нитридообразующих элементов;

- Не приведены результаты испытаний итогового состава в части жаростойкости и технологичности.

5. Филиал акционерного общества «Объединённая двигателестроительная корпорация» «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей» (филиал АО «ОДК» «НИИД»), подписан начальником отдела конструкционных материалов и функциональных покрытий филиала АО «ОДК» «НИИД», доктором технических наук, профессором Абраимовым Николаем Васильевичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- Из автореферата не ясно, в чем состоит различие понятий «внутреннее» и «сквозное» азотирование (стр. 20 автореферата);
- Из автореферата трудно понять достигают ли частицы нитридов легирующих элементов при химико-термической обработке стехиометрического состава.

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук» (ФИЦ ПХФ и МХ РАН) подписан главным научным сотрудником, и.о. заведующего лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов, доктором физико-математических наук Колобовым Юрием Романовичем и старшим научным сотрудником лаборатории физико-химической инженерии композиционных материалов, кандидатом технических наук Манохиным Сергеем Сергеевичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- На стр. 14 автореферата представлено заключение: «Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что длительная прочность сплавов прямо пропорциональна объемной доле упрочняющих фаз (нитридов и карбонитридов) и их размеру. Наиболее мелкая фаза среди исследованных композиций образуется в составе с гафнием (0,59 мкм), самая крупная в составе с повышенным содержанием титана (4,24 мкм), время до разрушения при 1000 °С составляет 6 и 396 ч соответственно (рисунок 10)». Сделанное заключение по влиянию объемной доли частиц упрочнителя не противоречит известным фактам

для исследованной автором диссертации области значений объемных долей упрочнителя, хотя и в этом случае хотелось бы видеть гистограмму распределения частиц по размерам, поскольку физические механизмы влияния крупных и мелких частиц на сопротивление высокотемпературному деформированию, как известно, существенно различны. Не понятным представляется результат по увеличению длительной прочности с увеличением размера частиц (т.е. уменьшением расстояния между ними) при одной и той же объемной доле? Может быть остались не замеченными возникшие при обработке ультрадисперсные частицы, которые при небольшой объемной доле эффективно блокируют движение дислокаций, в том числе в высокотемпературной области? Для проведения такого анализа также необходимы гистограммы распределения частиц по размерам.

- К сожалению в автореферате отсутствует информация о механических свойствах нового азотированного сплава на основе Co-Ni при температуре 1250 °С, хотя эта температура представлена как возможная рабочая температура. Для этого сплава также не приведены температуры солидуса и ликвидуса, тогда как для сплава ВЖ171 такие данные имеются.

- В автореферате недостаточно полно раскрыты данные о пластичности итогового состава сплава и свойствах его сварных соединений. Так, например, значение $\delta^{20} = 5,0 \%$ заметно ниже, чем у сплава ВЖ171 после ХТО по оптимальному режиму (11,4 % при 16 ч), и близко к нижнему пределу, приемлемому для тонколистовых сварных конструкций. Не указано, соответствуют ли данные таблицы 3 состоянию после вакуумного отжига, необходимость проведения которого в главе 3 обосновывалась в том числе повышением пластичности. Характеристики сварных соединений сплава нового состава не приведены, хотя свариваемость заявлена как одно из основных требований к материалу, а суммарное содержание Ti, Hf и Ta в нем составляет около 5,4 масс. % при 0,18 масс. % С, что требует проверки склонности к горячему растрескиванию и к охрупчиванию зоны термического влияния.

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» («НИТУ МИСИС»), подписан доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры физической химии НИТУ МИСИС Родиным Алексеем Олеговичем. Отзыв положительный.

Существенных замечаний к автореферату нет.

8. Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК»), подписан руководителем приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения», кандидатом технических наук Михаилом Михайловичем Бакрадзе. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- В автореферате указано, что метод CALPHAD не позволил в полной мере описать реальный процесс фазообразования при внутреннем азотировании сплава ВЖ171. Целесообразно пояснить, связано ли это с необходимостью учёта в расчётной модели влияния парциального давления азота, либо с конкретной системой легирования сплава.

- В работе не освещены вопросы переработки отходов из исследованного сплава после азотирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

- Заведующий лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика Н.Т. Гудцова, ведущий научный сотрудник ИМЕТ РАН, доктор технических наук, член-корреспондент РАН Банных Игорь Олегович является признанным специалистом в области металловедения, термической обработки металлов и создания высокоазотистых аустенитных сталей. Он автор более 120 научных публикаций и 9 патентов РФ на изобретения. Ведет исследования в области рационального легирования и термдеформационной обработки высокоазотистых аустенитных сталей для реализации комплекса высоких механических и коррозионных свойств.

- Заведующий лабораторией «Термическая и химико-термическая обработка» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент Смирнов Андрей Евгеньевич является одним из ведущих специалистов в области вакуумной и ионной химико-термической обработки сталей и сплавов. Смирнов А.Е. является автором более 170 научных публикаций и учебно-методических пособий, ряда патентов РФ на изобретения. Его научные труды сосредоточены на вакуумной и ионной химико-термической обработке, цементации, нитроцементации, азотировании, моделировании процессов массопереноса, фазовых превращений при химико-термической обработке сплавов на основе никеля, хрома титана, железа.

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ») является одним из ведущих образовательных центров Российской Федерации по исследованиям и разработкам в области азотирования различных инструментальных, коррозионностойких и жаропрочных материалов для повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности, а также коррозионной стойкости. В ФГБОУ ВО «МАДИ» сосредоточены старейшие и ведущие в стране научные школы по разработке технологий модифицирования поверхностей, в том числе упрочнения сплавов нитридами. Исследования в данной области отражены в публикациях сотрудников ведущей организации.

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации по теме азотирования, в том числе внутреннего, за последние 5 лет:

1. Петрова Л.Г., Белашова И.С., Фролов М.А., Малахов А.Ю. Применение стадийного процесса азотирования для снижения хрупкости легированных азотированных сталей. Научные технологии в машиностроении. 2025. № 12 (174). С. 3-12.

2. Белашова И.С., Петрова Л.Г., Маринин Е.А., Бибилов П.С. Влияние режимов циклического азотирования в аммиачно-воздушных атмосферах на

фазовый состав диффузионного слоя мартенситной стали. Черные металлы. 2024. № 7. С. 56-62.

3. Петрова Л.Г., Сергеева А.С. Поверхностное упрочнение коррозионностойких сталей ионным азотированием в аммиачно-аргонной смеси. Технология металлов. 2024. № 1. С. 10-15.

4. Петрова Л.Г., Белашова И.С. Газоциклические процессы химико-термической обработки: регулирование строения азотированного слоя в железе и сталях. Научные технологии в машиностроении. 2024. № 7 (157). С. 3-14.

5. Петрова Л.Г., Белашова И.С., Маринин Е.А. Формирование азотированных слоев в железе в условиях термоциклирования. Черные металлы. 2023. № 7. С. 42-46.

6. Белашова И.С., Петрова Л.Г., Бибилов П.С. Повышение качества диффузионного слоя в высоколегированных сталях после газоциклических процессов азотирования. Технология металлов. 2023. № 12. С. 2-8.

7. Петрова Л.Г., Сергеева А.С., Вдовин В.М. Модифицирование поверхности быстрорежущего инструмента совместным насыщением вольфрамом и азотом. Научные технологии в машиностроении. 2023. № 7 (145). С. 24-32.

8. Петрова Л.Г. Научные технологии в материаловедении: высокотемпературное сквозное азотирование жаростойкой стали. Научные технологии в машиностроении. 2023. № 9 (147). С. 3-15.

9. Петрова Л.Г., Сергеева А.С. Достижение рационального баланса стойкости азотированной аустенитной хромоникелевой стали к износу и коррозии. Технология металлов. 2023. № 8. С. 16-24.

10. Петрова Л.Г., Белашова И.С. Оценка твердорастворного упрочнения аустенитных сплавов при легировании азотом. Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 1. С. 245-252.

11. Петрова Л.Г., Белашова И.С., Бибилов П.С. Совершенствование технологий химико-термической обработки для поверхностного упрочнения

высоколегированных сталей авиационного назначения. Научные технологии в машиностроении. 2022. № 8 (134). С. 3-11.

12. Белашова И.С., Петрова Л.Г. Регулирование фазового состава азотированного слоя в железе при химико-термической обработке в условиях термоциклирования. Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 2. С. 237-245.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан состав и технология производства нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, обеспечивающего рабочую температуру до 1250 °С и более высокие по сравнению с материалами аналогичного применения характеристики: $\sigma_b^{20} = 1003$ МПа, долговечность при температуре 1000 °С – 120 часов при напряжении $\sigma = 80$ МПа и 550 часов при $\sigma = 64$ МПа.

Предложено использовать разработанную автором формулу для прогнозирования толщины нитридного слоя в деталях разной геометрии из жаропрочного деформируемого свариваемого Ni-Co сплава ВЖ171. Данный подход позволит планировать оптимальные режимы обработки для получения требуемой структуры и свойств деталей и узлов.

Доказано, что разработанный состав нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, обеспечивает долговечность при температуре 1000 °С – 120 часов при напряжении $\sigma = 80$ МПа и 550 часов при $\sigma = 64$ МПа, что выше, чем у наиболее жаропрочного сплава аналогичного назначения – ВЖ171 – по кратковременной прочности на 19 % и долговечности при 1000 °С в 4 раза, и чем у серийных сплавов ВЖ145, ВЖ159 по длительной прочности на 200–300 %.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказаны закономерности формирования структуры, фазового состава и упрочнения жаропрочного деформируемого свариваемого Ni-Co сплава ВЖ171 при высокотемпературной химико-термической обработке в среде азота;

установлены ранее не описанные кинетические зависимости образования нитридов титана и хрома в сплаве ВЖ171; установлено, что глубина зоны выделения и размер частиц нитридов пропорциональны корню второй и третьей степени от времени азотирования соответственно.

При работе над диссертационным исследованием Ахмедзяновым М.В. **использован** комплекс современных взаимодополняющих методов исследования, включая оптическую и электронные растровую и просвечивающую микроскопию, электронно-зондовый микроанализ, а также механические испытания. Определены микротвердость, жаростойкость, технологические свойства листов и прочность сварных соединений. Применение стандартизованных методик позволило достоверно оценить кинетику азотирования, фазообразование и механические свойства. Такой подход обеспечивает воспроизводимость результатов и обоснованность выводов.

Изложены научные положения о механизме влияния отжига в вакууме после азотирования на структуру и свойства Ni-Co сплава, упрочняемого внутренним азотированием. Установлено, что он способствует росту нитридов и выделению новых мелкодисперсных нитридов; в частицах повышается количество титана и снижается хрома, крупные нитриды на основе хрома растворяются. В структуре сплава после отжига выравнивается распределение напряжений, движение дислокаций при растяжении становится более равномерным. Отжиг позволяет повысить пластичность сплава в 1,2-2 раза и время до разрушения при 1000 °С на 30 %.

Раскрыта причина повышения длительной прочности и жаростойкости Co-Ni сплавов при легировании углеродом (0,1–0,2 масс. %), заключающаяся в формировании дополнительной упрочняющей фазы – карбонитридов. Это позволило определить такое сочетание титана, тантала и гафния, которое привело к синергическому эффекту, связанному с формированием более эффективного фазового состава, и к значительному повышению длительной и кратковременной прочности.

Изучены кинетика азотирования и фазообразования в сплавах на основе никеля и кобальта с различным соотношением легирующих элементов. Установлено, что толщина нитридного слоя у сплавов с содержанием углерода 0,02 % прямо пропорциональна корню второй степени времени азотирования v , а при 0,2 % С степень $\sim 0,45$. Другие компоненты в исследованных концентрациях влияют на множитель, включающий в себя коэффициент диффузии азота в сплаве. Установлено определенное соотношение Ti, Hf, Ta, приводящее к формированию при химико-термической обработке оптимального набора упрочняющих частиц: карбонитридов на основе гафния и тантала, и нитридов на основе титана.

Проведено усовершенствование существующего технологического процесса химико-термической обработки сплава ВЖ171, состоящее в проведении высокотемпературного азотирования продолжительностью, рассчитанной по установленным закономерностям, с последующим вакуумным отжигом, на основании которого был разработан режим химико-термической обработки нового Co-Ni сплава, что позволяет планировать оптимальные режимы обработки для получения требуемой структуры изделий разной геометрии и принципиально отличает разработанную технологию от ранее использовавшейся.

Для практики значение полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что:

Разработаны и опробованы технологии производства листового проката, химико-термической и термической обработок сварных узлов ГТД из сплава ВЖ171 (ТИ 1.595-3-730-2014 «Химико-термическая обработка (азотирование) сплава ВЖ171», изменение № 2 к ТР 1.595-3-833-2009 «Изготовление полуфабрикатов из свариваемого сплава типа ВЖ171-ВИ»), распространяющиеся на новый Co-Ni упрочняемый внутренним азотированием. Выпущена документация на поставку ТУ 1-595-3-781-2013 «Прокат листовой холоднокатаный из жаропрочного сплава марки ХН29К28ВМТ (ВЖ171)».

Определены перспективные легирующие элементы для нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, защищенного патентом RU 2601720, обеспечивающего достижение характеристик: $\sigma_b^{20} = 1003$ МПа, долговечность при температуре 1000 °С – 120 часов при напряжении $\sigma = 80$ МПа и 550 часов при $\sigma = 64$ МПа.

Представлены регрессионные концентрационные зависимости длительной и кратковременной прочности, которые могут быть использованы для оценки влияния химического состава на механические свойства при проектировании новых композиций.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что: **при экспериментальных работах** результаты получены на современном аттестованном оборудовании (испытательные разрывные машины, камерные печи с рабочей температурой до 1300 °С, твердомер, установки для определения штампуемости и стойкости к образованию горячих трещин) в строгом соответствии с действующими российскими стандартами и методиками (ГОСТ 6130-71, ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9651-84, ГОСТ 10145-81, ГОСТ 17040-80, ЛТП1-6); обеспечена воспроизводимость результатов (испытания проводились не менее чем на 2-х образцах для каждой точки, измерения выполнялись многократно с последующей статистической обработкой данных), относительная погрешность определения характеристик составляла ± 5 %, точность измерения толщины слоев – ± 1 мкм.

Теория построена на известных, проверяемых данных и фундаментальных принципах материаловедения и диффузионной кинетики; установленные закономерности формирования структуры, фазового состава и упрочнения при внутреннем азотировании и последующей термической обработке согласуются с опубликованными экспериментальными данными по диффузии азота в сплавах на основе никеля.

Идея базируется на анализе научно-технической литературы и патентных источников (121 наименование), обобщении передового опыта в области

2. На протяжении всего вашего доклада вы говорили о влиянии нитридов, потом о влиянии карбидов, вы говорили, что повышается такая важная характеристика материала, как сопротивление окислению, то есть жаростойкость. Что касается нитридов, то таких в литературе данных нет, то, что касается карбидов, карбиды снижают жаростойкость никелевых сплавов, карбид – он не жаростойкий. А у вас все время повышается жаростойкость. Чем вы это обосновываете?

3. Если мы упрочняем материал, то, соответственно, его какие-то характеристики должны ухудшаться. Делали ли вы усталостные испытания этого сплава?

4. У вас по тексту упоминается кобальт-никелевый сплав, где-то никель-кобальтовый. Как все-таки они классифицируются и что в результате вы разработали.

5. А заводы то готовы, это все-таки дополнительный процесс, готовы ли они внедрить эту дополнительную обработку?

6. В пятой главе вы показываете по сплаву ВЖ171 возможно его внедрение. Листовой прокат, листовая заготовка, жаровая труба. Эти все исследования у вас проводились на образцах эталонного типа согласно ГОСТ? У композитных материалов важным является две характеристики: характеристика материала, которая называется общая квалификация, и свойства материала на конструктивно-подобных образцах. Проводились ли такие исследования?

7. А вы проводили сравнение по плотности сплава ВЖ171 с аналогами?

Соискатель Ахмедзянов М.В. согласился с замечаниями на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Время выдержки у нас было не 5000 часов, мы оценивали до 1000 часов. Допустим, когда мы рассматривали жаростойкость, при температуре 1100 С, выдержка 1000 часов, была установлена формула, как я говорил ранее, по которой можно считать степень деградации, была исследована структура, исследованы образцы. Структура немного меняется, образуются дополнительно

создания жаропрочных деформируемых свариваемых сплавов на основе никеля и кобальта, а также на результатах предшествующих разработок НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ по азотируемым жаропрочным деформируемым свариваемым никелевым сплавам.

Использовано сравнение экспериментальных данных с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике, что позволило объективно оценить научную новизну и преимущества разработанного состава жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава перед известными аналогами.

Установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике: значения жаростойкости соответствуют среднему значению для жаропрочных деформируемых свариваемых никелевых сплавов аналогичного применения; константы скорости азота и экспериментальных композиций согласуются с литературными данными для аналогичных сплавов.

Личный вклад соискателя заключается в выполнении всех этапов диссертационного исследования, включающих анализ научно-технической литературы по теме работы, проведение исследований и оценку влияния параметров высокотемпературной химико-термической и термической обработок на формирование структуры и фазового состава сплавов на основе Co и Ni, обработку и анализ полученных экспериментальных данных, разработку состава нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, разработку научно-технической документации, написание статей и выступление на научных конференциях с докладами по теме работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Поскольку очень важно, чтобы эти свойства и структура сохранялись в течение рабочего периода, 5000 или 30000 тысяч часов, проводили ли вы изучение при этих температурах состава и свойств вашего материала.

нитриды хрома, но при этом в самих свойствах после выдержки разница незначительна, примерно 5-10 %.

2. Вы все правильно говорите, в традиционных никелевых сплавах углерод влияет таким образом, но как раз в нашем случае, когда мы получаем карбиды в структуре, и после этого мы делаем ХТО, по все карбиды превращаются в карбонитриды, и за счет этого получается, что после ХТО частиц карбидов не обнаружено, в том числе с другими элементами. И за счет этого снижается привес в том составе, где повышен углерод.

3. Да, характеристики, которые падают, – это пластичность. Если в гомогенном состоянии сплав имеет пластичность 90 %, он идеально подходит, чтобы делать деталь из него сложной конфигурации, то после азотирования до 10-5 %. С помощью вакуумного отжига, мы это значение, соответственно, повышаем, и этого достаточно для того, чтобы, так как азотирование является финишной обработкой, применять материал в изделии. А насчет того, что вы говорите, да, на сплаве ВЖ171 были получены циклические характеристики, они выше, чем у применяемых серийных гомогенных материалов, конкретно, на новых составах, зная, что такой уровень у ВЖ171, это было перенесено на дальнейшие исследования, а в первую очередь было уделено внимание кратковременной и длительной прочности.

4. Изначально за основу мы брали систему легирования сплава ВЖ171. Это никель-кобальт-хром. В сплаве эти компоненты находятся в равном количестве: кобальта 27 %, хрома 26, никеля чуть побольше, в районе 30. Но в процессе работы мы установили, что повышение жаропрочности возможно за счет добавления кобальта. Есть у нас такой результат, когда кобальт доходил до 38-40 %, и на этом составе время до разрушения также было выше. Соответственно, в процессе работы мы заменили никель-кобальтовую матрицу на кобальт-никелевую, но разница между ними 5 %.

5. Да, у нас процесс разработан таким образом, что модернизация существующего оборудования или покупка нового оборудования не требуется. У нас азотирование происходит в герметичном муфеле – это короб, у которого есть

подводящая трубка с азотом, отводящая трубка, вставка для термопары, поэтому именно для внедрения ничего менять не нужно, а сама печь используется камерная, обычная.

6. В рамках работ с «ОДК-Климов» и опробовании прототипа жаровой трубы проводились исследования РЗХП: расчетных значений характеристик прочности. На большом количестве образцов были определены характеристики, да, такая работы была проведена.

7. Сам сплав ВЖ171 имеет высокую плотность, 10 % вольфрама, поэтому мы шли не по пути повышения вольфрама, в том числе чтобы не было ТПУ фаз, остановились примерно на 8-10, поэтому плотность сплава такая же.

В диссертационной работе все заимствованные источники представлены со ссылками на автора или источник.

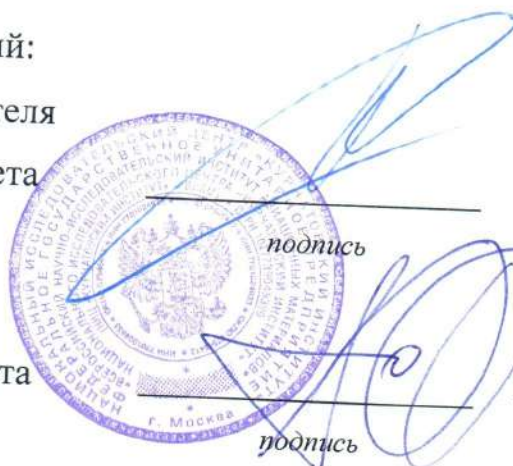
На заседании «03» сентября 2026 г. диссертационный совет принял решение о том, что в диссертации Ахмедзянова М.В. решена важная научно-техническая задача – разработка состава нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, для тонкостенных деталей газотурбинных двигателей и его химико-термической обработки, имеющая существенное значение для развития материаловедения и авиационной промышленности. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук, и принял решение присудить Ахмедзянову М.В. степень кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 3 доктора технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 13, против – 0.

Председательствующий:

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Славин

Андрей Вячеславович
фамилия, имя, отчество
(полностью)

Горбовец

Михаил Александрович

фамилия, имя, отчество
(полностью)

Дата оформления заключения: «03» сентября 2026 г.