

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ
С.В. Яковлев



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Ахмедзянова Максима Вадимовича на тему «Разработка состава и химико-термической обработки нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава для тонкостенных деталей газотурбинных двигателей» выполнена в лаборатории № 603 «Жаропрочные сплавы на никелевой основе» научно-исследовательского отделения «Жаропрочные литейные и деформируемые сплавы и стали» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

В период подготовки диссертации соискатель Ахмедзянов Максим Вадимович работал в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ) в лаборатории №603 «Жаропрочные сплавы на никелевой основе» в должности инженера, инженера 2 категории, инженера 1 категории, ведущего инженера, начальника сектора.

Ахмедзянов Максим Вадимович, 1988 года рождения, в 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

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

Научный руководитель – Овсепян Сергей Вячеславович, кандидат технических наук, заместитель начальника лаборатории по науке лаборатории № 603 НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа Ахмедзянова М.В. является научно-квалификационной работой, в которой решены важные научно-практические задачи:

1. Установлены ранее не описанные кинетические зависимости образования нитридов титана и хрома в жаропрочном деформируемом свариваемом Ni-Co сплаве ВЖ171 при высокотемпературной химико-термической обработке в среде азота. Глубина зоны выделения и размер частиц нитридов пропорциональны времени азотирования в степени $1/2$ и $1/3$ соответственно, что объясняется диффузионным ростом частиц за счет градиента концентрации азота и последующей коалесценцией по теории Лифшица-Слезова;

2. Впервые для повышения длительной прочности и жаростойкости упрочняемых внутренним азотированием сплавов на основе Ni и Co использовано легирование углеродом (0,1–0,2 масс. %), приводящее к формированию дополнительной упрочняющей фазы – карбонитридов.

3. Впервые для сплавов на Co-Ni основе, упрочняемых внутренним азотированием, установлено синергическое влияние добавок переходных металлов 4 и 5 групп периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева – Ti, Hf, Ta – на значительное повышение длительной и кратковременной прочности.

4. На основе выявленных закономерностей влияния легирования на прочностные характеристики разработан состав нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, с рабочей температурой до 1250 °С, обеспечивающего более высокие по сравнению с материалами аналогичного применения характеристики: $\sigma_{\text{в}}^{20} = 1003$ МПа, долговечность при температуре 1000 °С – 120 часов при напряжении $\sigma = 80$ МПа и 550 часов при $\sigma = 64$ МПа.

5. Для жаропрочного деформируемого свариваемого Ni-Co сплава ВЖ171 установлена зависимость, позволяющая прогнозировать толщину нитридного слоя и планировать оптимальные режимы обработки для получения требуемой структуры и свойств деталей и узлов с коротким и длительным ресурсом.

6. На основе полученных результатов разработан состав (патент RU 2601720) и технология производства нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, обеспечивающего рабочую температуру до 1250 °С и повышенные характеристики: $\sigma_{\text{в}}^{20} = 1003$ МПа, 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 %. Применение нового сплава для тонкостенных статорных деталей и узлов перспективных газотурбинных двигателей позволит повысить весовую отдачу и ресурс ГТД, снизить эмиссию.

7. По результатам исследований разработаны и опробованы технологии производства листового проката, химико-термической и термической обработок сварных узлов ГТД из сплава ВЖ171 (оформлены 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»), выпущена документация на поставку ТУ 1-595-3-781-2013 «Прокат

листовой холоднокатаный из жаропрочного сплава марки ХН29К28ВМТ (ВЖ171)».

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации:

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

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается использованием современных методов и приборов для анализа локального химического состава, микроструктуры, физико-химических свойств и структурно-фазовых характеристик сплавов, обработки экспериментальных данных, сертифицированного оборудования для проведения механических испытаний и значительным объемом выполненным экспериментов.

Новизна результатов проведенных исследований.

1. Установлены ранее не описанные кинетические зависимости образования нитридов титана и хрома в жаропрочном деформируемом свариваемом Ni-Co сплаве ВЖ171 при высокотемпературной химико-термической обработке в среде азота. Глубина зоны выделения и размер частиц нитридов пропорциональны времени азотирования в степени $1/2$ и $1/3$ соответственно, что объясняется

диффузионным ростом частиц за счет градиента концентрации азота и последующей коалесценцией по теории Лифшица-Слезова;

2. Впервые для повышения длительной прочности и жаростойкости упрочняемых внутренним азотированием сплавов на основе Ni и Co использовано легирование углеродом (0,1–0,2 масс. %), приводящее к формированию дополнительной упрочняющей фазы – карбонитридов.

3. Впервые для сплавов на Co-Ni основе, упрочняемых внутренним азотированием, установлено синергическое влияние добавок переходных металлов 4 и 5 групп периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева – Ti, Hf, Ta – на значительное повышение длительной и кратковременной прочности.

4. На основе выявленных закономерностей влияния легирования на прочностные характеристики разработан состав нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, с рабочей температурой до 1250 °С, обеспечивающего 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.

Практическая значимость проведенных исследований.

На основе выполненных исследований были получены следующие практические результаты:

1. Для жаропрочного деформируемого свариваемого Ni-Co сплава ВЖ171 установлена зависимость, позволяющая прогнозировать толщину нитридного слоя и планировать оптимальные режимы обработки для получения требуемой структуры и свойств деталей и узлов с коротким и длительным ресурсом.

2. На основе полученных результатов разработан состав (патент RU 2601720) и технология производства нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, обеспечивающего рабочую температуру до 1250 °С и повышенные 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, 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 %. Применение нового сплава для тонкостенных статорных деталей и узлов перспективных газотурбинных двигателей позволит повысить весовую отдачу и ресурс ГТД, снизить эмиссию.

3. По результатам исследований разработаны и опробованы технологии производства листового проката, химико-термической и термической обработок сварных узлов ГТД из сплава ВЖ171 (оформлены 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»), выпущена документация на поставку ТУ 1-595-3-781-2013 «Прокат листовой холоднокатаный из жаропрочного сплава марки ХН29К28ВМТ (ВЖ171)».

Ценность научных работ соискателя.

Разработаны технологические процессы высокотемпературного азотирования с последующим вакуумным отжигом сплава ВЖ171 и экспериментального сплава, обеспечивающие получение сквозного нитридного слоя на полуфабрикатах из листового проката толщиной до 2 мм и увеличение пластичности – удлинения при кратковременном растяжении – в 1,5 раза.

Предложены пути дальнейшего повышения жаропрочных характеристик сплавов системы Co-Ni с помощью высокотемпературного азотирования за счет оптимизации параметров процесса ХТО и изменения химического состава (в главной степени количества и вид нитридообразующих элементов).

Применение нового сплава для тонкостенных статорных деталей и узлов перспективных газотурбинных двигателей позволит повысить весовую отдачу и ресурс ГТД, снизить эмиссию.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и следующим пунктам:

П. 1. «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов»;

П. 2. «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»;

П. 6. «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим или термодформационным воздействием, цифровизация и автоматизация процессов, а также разработка информационных технологий систем сквозного управления технологическим циклом, специализированного оборудования».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основные результаты диссертационной работы Ахмедзянова М.В. опубликованы в 20 научных работах, из которых 7 включены в перечень ВАК при Минобрнауки России, отражающих основное содержание работы, 12 работ в сборниках трудов научных конференций и получен 1 патент Российской Федерации.

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);

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;

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;

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;

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.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Ахмедзянова Максима Вадимовича рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заключение принято на совместном заседании научно-технических советов научно-исследовательских отделений «Жаропрочные литейные и деформируемые сплавы и стали» и «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий и материалов».

Присутствовало на заседании – 27 человек, в том числе с правом голоса – 18, из них докторов наук – 2, кандидатов наук – 9.

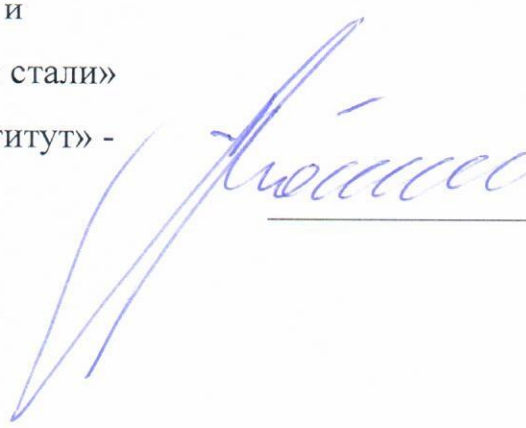
Результаты голосования: «за» – 18, «против» – 0, «воздержались» – нет.

Протокол № 40 от «13» ноября 2025 г.

Председательствующий на заседании:

Начальник НИО

«Жаропрочные литейные и
деформируемые сплавы и стали»
НИЦ «Курчатовский институт» -
ВИАМ, к.т.н.



Востриков

Алексей

Владимирович