

## **Отзыв**

### **официального оппонента**

на диссертационную работу Ромашова Антона Сергеевича «Влияние структурных изменений на свойства жаропрочных никелевых сплавов при дисперсном упрочнении нитридами легирующих элементов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

#### **Актуальность темы диссертации.**

Долговечность деталей, работающих в газовых средах при высоких температурах, во многом зависит от состава, структуры и свойств поверхностного слоя. Материалы, применяемые для изготовления высокотемпературных деталей, должны обладать высокой жаропрочностью и жаростойкостью. Этим требованиям наиболее полно соответствуют жаропрочные сплавы на основе никеля. Основным требованием к жаропрочным сплавам является высокая жаропрочность.

Разработка надежных методов защиты от газовой коррозии имеет большое значение для обеспечения высокой долговечности газовых турбин в авиационных двигателях гражданского и военного назначения. Особенно остро проблема долговечности деталей газотурбинных двигателей стоит при проектировании и разработке новых высокотемпературных авиационных газовых турбин.

Таким образом, диссертационная работа Ромашова А.С., направленная на решение проблемы повышения долговечности высокотемпературных деталей газотурбинных двигателей является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 90 наименований и одного приложения. Общий объем работы составляет 137 страниц машинописного текста, включая 90 рисунков и 28 таблиц.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

## **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе обоснован выбор материала исследования, представлен обзор методов повышения долговечности деталей из никелевых сплавов при газовой коррозии и способов поверхностного упрочнения, также рассмотрены особенности сварки никелевых сплавов. На основании критического обзора научно-технической литературы сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлен химический состав исследуемых сплавов, описаны методики и оборудование, используемое при решении поставленных задач, в том числе для обработки и исследования структуры, механических и других свойств. Содержание этой главы подтверждает высокую степень обоснованности и достоверности полученных результатов, поскольку применяются апробированные методики, реализуемые на сертифицированном оборудовании. К ним, в частности, относятся: испытательные машины LFMZ и LFM, откалиброванные по стандартам EN-ISO 7500-1, ISOEN 9513; оптический микроскоп LEICAMDIRM; электронный растровый микроскоп JEOL JSM 5600 и др.

В третьей главе представлены результаты исследований структурных изменений в жаропрочных никелевых сплавах под воздействием газовой среды. Показано влияние химического состава и наличия покрытия на сплавах на скорость и степень азотирования. Выдвинуто предложение проводить процесс упрочнения нитридами легирующих элементов после предварительного алитирования (хромоалитирования, алюмосилицирования) деталей.

В четвертой главе приведены результаты исследования структуры и свойств сплавов с нитридным упрочнением. Показано влияние нитридов



легирующих элементов на повышение предела прочности, предела текучести, а также длительной прочности. Представлены результаты по исследованию однородности распределения механических свойств в поперечном и продольном направлении. Установлена закономерность изменения глубины азотирования в зависимости от толщины листа, изучено влияние нитридов легирующих элементов на процесс сварки.

Пятая глава посвящена определению влияния нитридов легирующих элементов на характеристики жаростойкости при изотермическом окислении. По результатам исследований установлен механизм окисления на основе полученных соискателем новых данных по кинетическим кривым.

Шестая глава диссертационной работы посвящена описанию изготовления опытных деталей реактивного сопла и форсажной камеры с применением нитридного упрочнения.

В седьмой главе представлены результаты стендовых испытаний деталей с нитридным упрочнением в составе двигателя АЛЗ1Ф, подтверждающие их высокую работоспособность в условиях воздействия высокой температуры и нагрузок.

Большой массив экспериментальных результатов, полученных соискателем, а также использование взаимно дополняющих экспериментальных методов исследования с применением современного аттестованного оборудования определяет высокую степень достоверности и надежности полученных в диссертации результатов, а также сформулированных заключений, выводов и рекомендаций.

Результаты работы достаточно полно представлены на международных конференциях, отражены в трех публикациях в рецензируемых научных журналах.

#### **Оценка научной новизны полученных результатов и выводов.**

Научная новизна результатов определена тем, что:

1. Показано, что алюминий в покрытиях на основе алюминидов никеля является ускорителем процесса азотирования.

2. Установлено положительное влияние азотирования на снижение скорости коррозии никелевых сплавов при температуре нагрева 1050–1200 °С как без защитного покрытия, так и при наличии алюмосилицидного покрытия.

3. Установлены характеристики и влияние напряженного состояния азотированного сплава ХН60ВТ дополнительного легированного кобальтом и титаном на глубину азотирования.

### **Практическая значимость работы.**

Практическая значимость работы заключается в разработке способа изготовления опытных деталей сопла и форсажной камеры перспективного авиационного двигателя из листа никелевого сплава с нитридным упрочнением, а также в оценке работоспособности таких деталей при стендовых испытаниях в условиях воздействия высоких температур и нагрузок.

Несмотря на достаточно высокий уровень работы, следует отметить ряд замечаний:

1. Не совсем корректно применять термин объёмного азотирования к листам никелевых сплавов толщиной 1,5 и 3,0 мм, ввиду неполного азотирования по глубине листа.

2. Соискателем в диссертационной работе рассматривается только вариант электронно-лучевой сварки лучом, сфокусированным на поверхности образца на поверхности образца. Представляется целесообразным провести оценку свариваемости исследуемых сплавов расфокусированным лучом.

3. В диссертации отсутствуют данные, которые позволили бы количественно оценить ресурсные характеристики азотированных деталей.

4. Не понятно, с какой целью соискатель представил в диссертации «Заключение» из шести пунктов, которые в автореферате назвал «Общие выводы». В чем разница?



5. В диссертационной работе в ряде случаев используются нестандартные термины и размерности.

Отмеченные отдельные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности. Представленная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденном Постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а Ромашов А.С. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент,  
профессор, доктор технических наук,  
академик Международной академии  
информатизации, ведущий специалист

В.В. Овчинников

Подпись Овчинникова Виктора Васильевича заверяю.

Начальник управления



Платонов М.А.

Акционерное общество «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», ведущий специалист, начальник лаборатории, Овчинников Виктор Васильевич

Почтовый адрес: 125284, Москва, 1-й Боткинский проезд, д. 7

Телефон: +7 495 721-81-00

Адрес электронной почты: mig@migavia.ru