

### **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Ромашова Антона Сергеевича «Влияние структурных изменений на свойства жаропрочных никелевых сплавов при дисперсном упрочнении нитридами легирующих элементов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv i splovov

**Структура и объем диссертации.** Представленная на оппонирование работа состоит из введения, семи глав, заключения по работе. Работа иллюстрирована 90 рисунками общим объемом 137 страниц. Список используемой литературы насчитывает 90 наименований.

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

Рецензируемая работа представляет собой теоретико-экспериментальное metallovedchesko-tehnologicheskoe issledovanie, posvyashchennoe resheniyu povysheniye dolgovечности vysokotemperaturnykh detalей газотурбинных двигателей. В конструкции современных газотурбинных двигателей широкое применение нашли жаростойкие и жаропрочные сплавы на никелевой основе. Высокие прочностные свойства, способность к длительной эксплуатации без существенного ухудшения надежности и долговечности деталей достигается многокомпонентным легированием. Такие детали работают в условиях длительного воздействия высокотемпературного газового потока продуктов сгорания углеводородов, что приводит к окислению и обеднению поверхностного слоя деталей легирующими элементами, прежде всего имеющими высокую активность к кислороду, и как следствие – разупрочнение сплавов.

Автором осуществлено теоретическое обобщение и представлены пути решения проблемы повышения долговечности высокотемпературных деталей газотурбинных двигателей, что делает работу весьма актуальной.

#### **Научная новизна и вклад автора.**

Автор самостоятельно на основании и обобщении литературных источников и результатов своих исследований предложил способ увеличения прочностных характеристик высокотемпературных листовых деталей газотурбинных двигателей методом объемного легирования жаростойких никелевых сплавов азотом при химико-термической обработке.

Увеличение прочностных свойств азотированных сплавов при объемном азотировании автор справедливо связывает с вкладом нитридов легирующих элементов равномерно распределенных в объеме деталей, изготовленных из листовых материалов.

Являются оригинальными, имеют самостоятельное и важное прикладное значение следующие результаты исследования автора:

1. Установлена зависимость содержания алюминия в фазе  $\beta$ -NiAl покрытия на скорость и степень азотирования. На основании этого предложено азотирование проводить после предварительного нанесения покрытия.



2. Установлено что определяющим фактором в механизме повышения жаростойкости сплава при высоких температурах является наличие нитридов, и прежде всего нитрида титана.

3. Установлено, что наводящиеся в процессе азотирования остаточные напряжения способствуют увеличению скорости диффузии атомов азота.

### **Практическая значимость работы.**

Правильный методический подход к решению проблемы свариваемости сплавов с нитридным упрочнением, позволил автору установить ухудшение свариваемости упрочненных деталей, обусловленное скоплением нитридов в сварных швах и достаточно, убедительно показал целесообразность использования аргонодуговой сварки при которой достигаются приемлемые характеристики получения неразъёмных соединений, что в значительной мере решает вопросы ремонтпригодности.

Диссертант проводит исследования деталей газотурбинного двигателя в максимально приближенных условиях их эксплуатации – непосредственно в высокотемпературном газовом потоке для определения их сопротивляемости газовой коррозии. Это позволило установить, что одним из факторов в повышении жаростойкости при высоких температурах является торможение диффузии элементов нитридами.

Проведенные исследования имеют практическую направленность. Они связаны с улучшением прочностных свойств никелевых жаропрочных сплавов, с целью повышения надежности и ресурса деталей газотурбинных двигателей. Логическим завершением диссертационной работы является промышленная апробация, которая подтвердила эффективность применения сплавов с нитридным упрочнением.

### **Достоверность полученных результатов и личный вклад автора.**

Результаты рецензируемой работы – это фундаментальный труд исследователя. Достоверность выводов и рекомендаций, полученных автором при выполнении исследований химического и фазового состава, микроструктуры и механических свойств сплавов не вызывает сомнений поскольку работы выполнены с применением современных методов и методик с использованием аттестованных приборов имеющих сертификат соответствия.

В процессе выполнения работ диссертант изучил и обобщил материалы научных трудов (более 90 наименований отечественных и зарубежных ученых) посвященные проблеме диссертационной работы. Диссертант непосредственно участвовал в проведении экспериментов в процессе всего цикла исследований и разработал способ изготовления деталей сопла и форсажной камеры газотурбинного двигателя из листового проката никелевого сплава с дисперсным упрочнением нитридами легирующих элементов.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы, выводы подтверждены материалами исследований. Научные результаты работы опубликованы в шести научных статьях, три из которых в изданиях, рекомендованных ВАК, а также докладывались и обсуждались на научных конференциях и научно-технических совещаниях.



### Замечания по работе.

1. Не ясно, каков механизм формирования упрочняющих никелевые сплавы нитридов в процессе азотирования в среде молекулярного азота.

2. Не ясно, что вкладывает автор в понятие долговечности высокотемпературных деталей ГТД и прежде всего деталей реактивного сопла и форсажной камеры.

3. При оформлении диссертационной работы имеются отступления от требований ЕСКД. Так в диссертации на рис. 3.8 а, б, в отсутствуют обозначения на оси абсцисс, используются аббревиатуры, которые не расшифровываются: КПД на стр. 4; СДП, СДКП, ВСДП на стр. 15; АСД на стр. 22, автор использует нестандартные обозначения размерности, например, кгс/мм<sup>2</sup> стр. 65, 82, 90, 92, 110; мм.рт.ст., атм. стр. 68; кг/мм<sup>2</sup> стр. 61 другие, что затрудняет изучение диссертации.

### Заключение.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки научного и прикладного уровня рецензируемой работы. В работе Ромашова А.С. имеются все компоненты: научная новизна, практическая ценность, актуальность, личный вклад диссертанта, достоверность результатов, которые позволяют считать ее законченной научно-исследовательской работой. На основании выполненных автором исследований решена научная задача по повышению долговечности высокотемпературных деталей современных и перспективных ГТД.

Представленная работа отвечает требованиям ВАК Российской Федерации о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ромашов Антон Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», декан механического факультета, заведующий кафедрой авиатопливообеспечения и ремонта ЛА.

Почтовый адрес: 125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Телефон: +7(499)459-07-08

Адрес электронной почты: [v.samoilenko@mstuca.aero](mailto:v.samoilenko@mstuca.aero)

Официальный оппонент,

профессор, доктор технических наук



Самойленко Василий Михайлович

Подпись Самойленко В.М. заверяю

Проректор по НР и И ФГБОУ ВПО МГТУ ГА

доктор технических наук,

профессор



В.В. Воробьев