

О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертационную работу

Золотаревой Анны Юрьевны

«Многослойные высокотемпературные покрытия для жаропрочных титановых и никелевых сплавов и технологии их нанесения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Развитие авиакосмической техники требует постоянного увеличения рабочих температур и нагрузок при эксплуатации узлов и деталей двигателей летательных аппаратов, создания новых жаропрочных материалов и новых технологий их производства. К ним относятся жаропрочные сплавы на основе интерметаллидов титана системы Ti-Al, которые по характеристикам удельной жаропрочности при температурах 650-700°C могут превосходить традиционные жаропрочные металлические сплавы на основе титана и никеля.

Однако титановые интерметаллидные сплавы на основе системы Ti-Al не обладают достаточной стойкостью к высокотемпературному окислению, поэтому для обеспечения заданного ресурса необходима разработка эффективных защитных покрытий. Это обстоятельство является одним из факторов, который определяет высокую актуальность диссертационной работы, направленной на решение этой проблемы.

Другой важной задачей является защита от износа контактирующих поверхностей бандажных полок лопаток газовых турбин и восстановление защитных покрытий при ремонте. Применяемая в серийном производстве технология напайки имеет существенный недостаток, поскольку включает операцию нагрева всей детали до высоких температур, что может вызывать при ремонте неконтролируемую рекристаллизацию в замках лопаток, снижение характеристик жаропрочности сплавов и жаростойкости покрытий, нанесённых при серийном производстве лопаток. Поэтому разработка способа восстановления геометрических размеров при ремонте и защитных покрытий на бандажных полках лопаток ротора турбины также является актуальной задачей.

2. Научная новизна и значимость диссертационной работы Золотаревой А.Ю. заключаются, во-первых, в разработке научных основ создания нового жаростойкого покрытия из двухслойного композиционного материала системы (Al-Si)+(Ni-Cr-Al-Y). Автором показано, что в покрытии системы Ni-Cr-Al-Y образуются алюминий содержащие фазы $TiAl_3$, Ni_3Al и $NiAl$, которые обеспечивают длительную защиту деталей

от высокотемпературного окисления. Второй слой композиционного покрытия системы Al-Si тормозит диффузию титана к границе раздела с газовой средой и затрудняет формирование оксидов титана на поверхности покрытия.

Во-вторых, автором показано, что для восстановления размерных параметров бандажных полок лопаток турбин из сплава ЖС26 необходимо использовать никелевый сплав X20H80-N, коэффициент линейного расширения которого в 1,5 раза превосходит таковой основного материала. Предложенное сочетание коэффициентов линейного расширения данного покрытия и подложки препятствует появлению трещин при последующем нанесении износостойкого и жаростойкого покрытий.

3. Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов не вызывают сомнений, что определяется комплексным подходом к проведению исследований и испытаний с использованием современного сертифицированного оборудования, аттестованного по международным стандартам, применением эффективных методов экспериментальных исследований и использованием современных материаловедческих представлений о механизмах влияния покрытий на защитные и трибологические свойства материалов.

4. Практическая значимость работы.

Отмечу несколько результатов работы, которые, по моему мнению, имеют наиболее важное практическое значение.

Наиболее значимым результатом работы является создание нового защитного композиционного покрытия и способа его нанесения на лопатки из жаропрочных интерметаллидных титановых сплавов. Двухслойное покрытие позволяет на три порядка повысить стойкость к высокотемпературному окислению деталей перспективных двигателей при температурах эксплуатации до 700°C.

Далее, автором разработан способ нанесения высокотемпературного износостойкого покрытия из интерметаллидного сплава ВКНА-2М методом наплавки в среде аргона на контактные поверхности бандажных полок лопаток ротора турбины высокотемпературных газотурбинных двигателей. Показано, что наплавка в среде аргона практически исключает образование неметаллических включений в структуре износостойкого покрытия ВКНА-2М.

И наконец, что особенно важно, разработанные технологии внедрены в опытно-промышленном производстве на производственном комплексе «Салют» АО «ОДК».

5. Публикации и апробация работы.

Диссертационная записка составляет 141 страницу машинописного текста и включает введение, пять глав, общие выводы, список литературы из 103 наименований и

приложение. Результаты, полученные в диссертации, изложены в 7 печатных работах, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК, две из которых были переведены на английский язык и опубликованы в изданиях, индексируемых Scopus, получен 1 патент на изобретение.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 научных конференциях, проводимых в ПК «Салют» АО «ОДК», ФГУП «ВИАМ», ФГУП «ЦИАМ им. Баранова», ЦВК «Экспоцентр» в 2018-2019 гг., а также на 22-ом международном салоне «Архимед-2019», проведенном в КВЦ «Сокольники».

6. Замечания по работе.

1. Известно, что критическое влияние на эксплуатационные характеристики защитных покрытий оказывают микропоры, которые практически всегда формируются либо в материале покрытий, либо на границах раздела покрытие-подложка или между слоями композиционных покрытий. Влияние пор определяется рядом факторов – их объемной долей, средним и максимальным размерами и т.п., что требует детального изучения характеристик ансамбля пор. Такой подход позволяет минимизировать негативное влияние пор – например, использовать для уплотнения покрытий горячее изостатическое прессование (см., например, А.Г. Береснев и др. *Конструкции из композиционных материалов 2014, № 2, с.20-23*). Вызывает сожаление отсутствие в диссертации результатов подобного количественного исследования ансамбля пор в покрытиях.
2. В работе уделяется серьезное внимание вопросам диффузии компонентов в слоях покрытий, однако имеется следующий недостаток. Мне кажется, что полученные автором концентрационные профили распределений элементов по глубине покрытий и в системе покрытие\подложка после отжига позволяют не только сделать качественные выводы о характере диффузионного проникновения элементов (например, цитирую автора «...практически не происходит диффузионного перемещения атомов титана из ВСДП-11Н, стр. 61), но и оценить значения коэффициентов взаимной диффузии, что позволило бы более точно прогнозировать ресурс покрытий.
3. Отмечу, что в диссертационной записке имеются некоторые неточности и опечатки, например, (стр. 122): «*фазовый состав покрытия на сплаве BT8-M1 представляет собой алюминиды никеля и титана – NiAl, Ni₃Al, Ti₅Si₃*». Разве соединение Ti₅Si₃ - алюминид титана?

7. Заключение.

Указанные недостатки не меняют общую высокую оценку диссертационной работы Золотаревой А.Ю.

В целом представленная к защите диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные материаловедческие и технологические решения актуальных задач по разработке и исследованию многослойных покрытий для защиты от воздействия окружающей среды нового поколения жаропрочных титановых сплавов на основе интерметаллидов, а также для защиты от износа контактирующих поверхностей лопаток газотурбинных двигателей из традиционного жаропрочного никелевого сплава ЖС26.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в отраслях промышленности, занимающихся разработкой жаропрочных материалов и производством изделий из них, а также в научной и педагогической деятельности Научно-исследовательских технологических университетов.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Золотарева А.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Официальный оппонент:

начальник отделения металлических материалов
и металлургических технологий АО «Композит»,
доктор технических наук

А.И. Логачёва

18.11.2019

Подпись Логачёвой Аллы Игоревны удостоверяю

Заместитель генерального директора
АО «Композит»



В.Н. Бутрим

Адрес: 141070, Россия, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, 4.

Телефон: +7 (495) 513-21-26

e-mail: info@kompozit-mv.ru