

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Зайцева Николая Григорьевича «Повышение эксплуатационных свойств теплозащитных покрытий деталей газотурбинных установок, полученных плазменным напылением», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (Машиностроение)

Актуальность.

Проблема теплозащитных покрытий (ТЗП) стала особенно актуальной при увеличении температуры газов перед турбиной в газотурбинных двигателях до 1900 - 2100⁰С и обусловлена, прежде всего, ограниченной жаропрочностью никелевых сплавов. В то же время наличие керамической плёнки на поверхности металлических жаростойких покрытий существенно уменьшает скорость флюсования окалины при работе газотурбинных установок на грязных топливах и, тем самым, способствует увеличению ресурса турбин. Из-за низкой теплопроводности оксидная керамика на основе диоксида циркония стабилизированная от фазовых превращений оксидом иттрия получила наиболее широкое распространение в градиентных покрытиях. Для получения покрытий с дендритной структурой широко применяют электронно-лучевое или магнетронное напыление керамических слоёв. Более простым и относительно недорогим способом является плазменное напыление керамики с монокристаллической структурой на детали.

Наиболее экономичным является плазменное напыление на воздухе. Получаемое покрытие обладает низкой теплопроводностью по сравнению с покрытиями, нанесёнными другими методами, что достигается за счёт особенностей строения его микроструктуры. Однако, слоистая структура таких покрытий менее устойчива к внутренним напряжениям, вызываемым термоциклическими нагрузками. Более высокими показателями свойств обладает столбчатая структура, которая образуется в процессе электронно-лучевого осаждения.

Одним из перспективных способов повышения эксплуатационных свойств ТЗП является лазерная обработка поверхности покрытия. За счёт

изменения микро- и макроструктуры слоя можно повысить стойкость к эрозионному износу и термостойкость покрытия.

Таким образом, диссертационная работа Зайцева Н.Г., направленная на повышение стойкости керамического слоя теплозащитного покрытия, полученного плазменным напылением, к термоциклическим нагрузкам при высоких температурах, эрозионному воздействию газового потока и стойкости к скалыванию при изотермическом нагреве путем изменения структуры покрытия в результате лазерной обработки является актуальной.

К научной новизне работы, прежде всего, следует отнести разработанный автором метод получения сегментированной структуры керамики с вертикальными каналами и вертикальной ориентацией кристаллитов при оплавлении поверхностного слоя теплозащитного покрытия на основе диоксида циркония излучением диодного лазера с П-образным распределением плотности энергии в фокальном пятне на подложках из никелевого сплава и гамма алюминиды титана, установление зависимости повышения эксплуатационных характеристик теплозащитного покрытия после лазерного оплавления от параметров структуры оплавленного слоя; результаты исследования физико-химических и механических свойств покрытия с трещиноватой структурой керамики.

Практическая значимость работы состоит в том, что реализация разработанной технологии подтверждена на опытной партии лопаток турбины двигателя газоперекачивающей установки.

Разработанный способ реализован на интерметаллидном сплаве γ -TiAl при выполнении НИР по Госзаданию № 11.1934.2017/ПЧ от 31.05.2017 г. Достигнуто увеличение термостойкости интерметаллидного титанового сплава с трещиноватым ТЗП при циклическом нагреве до температуры 1000 °С в 2,5 раза по сравнению с покрытием без лазерной обработки.

Обоснованность и достоверность основных положений и результатов диссертационной работы подтверждена комплексом современных методов экспериментальных исследований структуры и свойств материалов

модельных образцов, выполненных с использованием современного аттестованного оборудования и универсального программного обеспечения.

Замечания.

1. Разработка технологических процессов, оценка термостойкости и эрозионной стойкости покрытия осуществлены автором в основном на жаростойком никелевом сплаве ХН60ВТ (ВЖ98), который имеет структуру однородного γ - твердого раствора, низкие характеристики прочности и жаропрочности ($\sigma_b^{900} = 220$ МПа, $\sigma_{100}^{900} = 50$ МПа), высокую пластичность ($\delta=32\%$) и не применяется для изготовления силовых элементов конструкции газовых турбин. В связи с этим переносить полученные результаты на жаропрочные сплавы типа ЖС с γ/γ' структурой представляется некорректным, поскольку характеристики механических свойств жаропрочных сплавов с разработанной технологией формирования трещиноватой структуры ТЗП автором не исследованы.
2. Создание трещиноватой структуры ТЗП лазерным оплавлением сопровождается образованием клиновидных трещин, которые, будучи серьёзными концентраторами напряжений, легко перерастают в магистральные и вызывают резкое снижение усталостной прочности и не могут быть рекомендованы для роторных лопаток турбин, которые представлены в диссертации в качестве практической апробации.
3. К сожалению, разработанные процессы создания ТЗП с линейным лазерным формированием дорожек проплавления керамики снижают шероховатость только на оплавленных участках вдоль дорожек, а во всех других направлениях шероховатость остаётся высокой. По данным автора её значение, например, в поперечном направлении в два раза выше, чем на дорожках, что неизбежно ведёт к увеличению торможения газового потока, потере мощности и снижению КПД двигателя.
4. Автор утверждает, что пористые слоистые материалы способны поглощать излучение за счёт дефектов структуры при плотности порядка 95%. Не ясно, каков фактический разброс значений плотности, при котором становится эффективным поглощение лазерного излучения?
5. По результатам рентгеноструктурного анализа автором делается заключение о том, что количество кубического оксида циркония в

оплавленном слое составило 5%, однако остаётся неясным – как распределяется содержание кубической фазы по глубине покрытия?

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченный научно-квалификационный труд, в котором изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по повышению стойкости керамического слоя теплозащитного покрытия, полученного плазменным напылением, к термоциклическим нагрузкам и эрозионному воздействию газового потока.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 11 научно-технических конференциях, опубликованы в 11 печатных работах, в том числе 3 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Содержание автореферата достаточно полно отражает основные положения диссертации.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Зайцев Николай Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Начальник отдела филиала «НИИД» АО «НПЦ газотурбостроения «Салют»
доктор технических наук, профессор

 Н.В. Абраимов 28.11.18

Рабочий адрес: 105118, г. Москва, пр. Будённого, 16, к.182. Филиал «НИИД», АО «НПЦ газотурбостроения «Салют».

Тел. 7-(499) 785 80 29, e-mail: diagnostika@salut.ru

Подпись доктора техн. наук, проф. Абраимова Н.В.

УДОСТОВЕРЯЮ

Первый заместитель директора филиала «НИИД»
Кандидат технических наук

 Н.И. Шаронова

