

## Отзыв

официального оппонента к.т.н. Ашмарина Артема Александровича на диссертационную работу Смирновой Анастасии Николаевны «Влияние технологии нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на коррозионную стойкость конструкционных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы». На отзыв представлена диссертационная работа объемом 181 страниц машинописного текста, включая 89 рисунков и 15 таблиц. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка цитируемой литературы, содержащего 70 ссылок и 3 приложений.

### Актуальность темы диссертационной работы

С каждым годом повышаются требования к физико-механическим и химическим свойствам конструкционных сталей авиационной техники. Как правило, снижение функциональных свойств происходит из-за коррозии поверхностных слоев. Для продления срока службы широко применяются различные способы модифицирования поверхности и нанесение покрытий, в том числе и вакуумных ионно-плазменных (ВИП). Основным преимуществом ВИП покрытий является их экологическая чистота и широкий диапазон химического состава.

В связи с этим диссертационная работа, в которой исследовано влияние технологии нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на коррозионную стойкость конструкционных сталей является своевременной и актуальной.

### Научная новизна.

1. Обнаружена возможность устранения дефектов поверхности, вызванных обработкой резанием, при воздействии плазменных потоков в процессе ВИП.
2. Установлены зависимости давления аргона на плотность и характер дефектов монослойного покрытия на основе титана и его защитную способность, зависящую от пористости покрытия.
3. Установлены закономерности влияния опорного напряжения ( $U_{оп}$ ), тока дуги ( $I_d$ ) и давления рабочего газа на формирование зоны взаимной диффузии элементов подложки и элементов покрытия.
4. Установлено влияние  $U_{оп}$  на кристаллографические особенности TiN покрытия и на микротвердость. При  $U_{оп}=U_{пл}$  формируется практически бестекстурное монослойное TiN покрытие, обеспечивающее предельно высокую микротвердость порядка 90 ГПа. При  $U_{оп}=-100В$  формируется текстура с преимущественной ориентации плоскостей гранецентрированной решетки TiN (111) и (200) в плоскости покрытия. При этом микротвердость покрытий составляет около 50 ГПа.

5. Разработаны технологические условия обеспечения наилучшей защитной способности коррозионностойких ВИП-покрытий конструкционных сталей: шероховатость обрабатываемой поверхности  $\leq 0,05$  мкм, электронный нагрев до температуры  $180^{\circ}\text{C}$ , ионная очистка низкотемпературным модулем «Плагус», пористость покрытия должна находиться в пределах 1-2 микропоры на  $1\text{см}^2$ , формирование многокомпонентного покрытия Ti-N-Zr вместо однокомпонентного Ti-N.

### **Практическая значимость**

1. Разработана экспресс методика ускоренных коррозионных испытаний (около 24 минут) позволяющая определить влияние технологических воздействий параметров ВИП обработки на защитные свойства поверхности КС.

На ее основе в ОАО НИАТ разработан методический материал по проведению ускоренных коррозионных испытаний ММ 1.4.2402-2017 «Ускоренные коррозионные испытания поверхностного слоя конструкционных металлических материалов в среде соляного тумана».

2. Разработаны технологические рекомендации ТР 1.4.2403-2017 «Комплексная оценка защитных свойств коррозионностойких катодных вакуумных ионно-плазменных покрытий» по проведению ускоренных коррозионных испытаний для оценки технологических воздействий плазменных потоков на коррозионную стойкость осаждаемых покрытий».

3. Разработано коррозионностойкое вакуумное ионно-плазменное покрытие на основе системы Ti-Zr-N с высокой сплошностью на уровне 1-2 микропоры на  $\text{см}^2$  и защитной способностью, обусловленной эффектом самопассивации.

Разработанные в результате выполнения диссертационной работы технологические рекомендации по проведению оценки защитных свойств коррозионностойких катодных вакуумных ионно-плазменных покрытий ТР 1.4.2403-2017 и методики по ускоренным коррозионным испытаниям ММ 1.4.2402-2017 используются в ОАО НИАТ для исследований свойств поверхности при выполнении тематических и хозяйственных работ.

### **Достоверность полученных результатов.**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается проведением большого объема экспериментальных работ и применением современных методов исследования, а также сравнением полученных данных с данными имеющимися в отечественной и зарубежной технической литературе; признанием научной общественностью публикаций в научно-технических журналах. Всё это дает основание считать выводы диссертационной работы обоснованными и достоверными.

## **Замечания по диссертационной работе.**

1. В диссертации на стр. 16-18 говорится о полировке на алмазной пасте, после которой увеличивается шероховатость, возможно дело в размере алмазного зерна пасты, какого размера зерна пасты?

2. В диссертации на стр. 45 рис. 1.9 не указана температура, для которой приведены растворимости.

3. В диссертации стр. 80-82 автор несколько неточно описал методику дифрактометрических исследований и общее устройство дифрактометра. На мой взгляд, описание методики и прибора было вообще не обязательно, достаточно было упомянуть прибор и излучение.

4. Хотелось бы уточнить что, по мнению автора, влияет на снижение твердости покрытия TiN с 90 ГПа до 60 ГПа не отличающегося высокой анизотропией из-за кубической структуры при изменении текстуры?

5. Что по мнению автора является центрами зарождения коррозии?

Сделанные замечания носят рекомендательный характер или вызваны техническими ошибками и не снижают общей высокой оценки диссертации.

## **Заключение**

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения: установлены закономерности развития коррозионных процессов в зависимости от процессов формирования микрогеометрии и физико-химических свойств поверхностей при технологических воздействиях (шлифовка, абразивная обработка, электронный нагрев, обработка в вакууме потоками металлической и газовой плазмы), установлены закономерности влияния основных технологических параметров плазменных потоков на формирование нанорельефа и наноструктуры блокирующего слоя Ti на поверхности обрабатываемого материала при ВИП обработке, установлены закономерности влияния параметров процесса осаждения TiN покрытий на формирование пограничного диффузионного поверхностного слоя системы «КС-покрытие», разработаны экспресс-методики оценки коррозионной стойкости после различных видов технологической обработки и нанесения покрытий, позволяющие повысить точность получаемых результатов. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 11 научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в 26 печатных работах, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области авиационной, ракетной и другой технике. 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 Смирнова Анастасия Николаевна, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Ашмарин Артем Александрович.

Старший научный сотрудник.

Лаборатория № 4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

К. т. н.

*АА* Ашмарин Артем Александрович  
06.05.2014

Подпись А. А. Ашмарина удостоверяю

*Ученый секретарь ИМЕТ РАН  
К.т.н.*



Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 49

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

Электронная почта: [imet@imet.ac.ru](mailto:imet@imet.ac.ru).

Приемная тел.: +7 (499) 135-2060