

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Николаева Алексея Александровича

«Закономерности формирования интерметаллидных поверхностных слоев при ионно-плазменной обработке сплава ВТ6 для повышения триботехнических свойств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

### **Актуальность темы диссертации.**

Титан и сплавы на его основе благодаря своим уникальным свойствам широко применяется в промышленности. Однако высокая реакционная способность и низкие триботехнические характеристики существенно ограничивают его применение. Для устранения указанных недостатков осуществляется модификация поверхностных слоев материалов. Формирования поверхностного слоя с градиентным составом, структурой и свойствами на основе интерметаллидов систем титан-алюминий является на сегодняшний день одним из распространенных методов. Традиционный вакуумный отжиг сплава ВТ6 с предварительно нанесённым на поверхность покрытием алюминия в температурном интервале старения титана не обеспечивает формирование градиентной структуры. Увеличение температуры отжига приводит к изменению свойств основы. Использование ионно-плазменной обработки способствует диффузии алюминия в титановую основу и смещают температуры фазовых превращений в область меньших температур. В результате формируются структуры состава  $TiAl_3$ ,  $TiAl$  и  $Ti_3Al$  без трансформации структуры основы. При этом возникает необходимость комплексных исследований, направленных на изучение характеристик представленных слоев и установить взаимосвязь структуры и фазового состава формируемых покрытий с их физико-механическими свойствами.

### **Содержание работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения.

**Во введении** обосновывается актуальность и научная новизна исследований, проводимых в рамках диссертационной работы, формулируется цель и задачи, решению которых посвящена работа.

**Первая глава** является обзорной и представляет собой анализ исследований по тематике диссертации. На основе литературного анализа сформулированы и обоснованы задачи исследований.

**Второй глава** посвящена методике и технике проведения исследований. В ней представлено описание использованного экспериментального оборудования и методов исследования свойств и измерения параметров покрытий.

**В третьей** главе представлены результаты растровой, просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа полученных покрытий до и после ионно-плазменной обработки.

**В четвертой** главе приведены микротвердость, результаты триботехнических и склерометрических испытаний, модифицированных интерметаллидных слоев. Показано практическое применение разработанных покрытий.

**В выводах** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Среди результатов, обладающих **научной новизной**, отметим следующие.

Показано, что в отличии от традиционного вакуумного отжига образцов титанового сплава ВТ6 с предварительно нанесенным покрытием алюминия ионно-плазменная



обработка обеспечивает формирование интерметаллидных слоев состава  $TiAl_3$ ,  $TiAl$  и  $Ti_3Al$ .

Установлено, что ионно-плазменная обработка при температуре 500 °С в течении 1 часа приводит к формированию градиентной композиционной структуры. В покрытии алюминия – фаза  $TiAl_3$ . На границе раздела – нанокристаллическая структура на основе твердого раствора  $Al(Ti)$ . В основе -  $TiAl_3$ ,  $TiAl$  и  $Ti_3Al$ .

Выявлено, что уменьшение температуры ионно-плазменной обработки на 10% приводит к уменьшению интерметаллидного слоя в основе сплава ВТ6 на 50%, причем фазовый состав слоя состоит только из  $TiAl_3$ . Уменьшение толщины исходного покрытия алюминия с 2,5 мкм до 0,5 мкм способствует формированию слоя, состоящего из интерметаллида  $TiAl$ .

Покрытия на основе интерметаллидов  $TiAl$  продемонстрировали высокую износостойкость сопоставимую с износостойкостью его нитрида, обладая при этом лучшей адгезией.

#### **Научная и практическая значимость.**

В результате ионно-плазменной обработки при температуре 500 °С в образцах сплава титана ВТ6 с предварительно нанесенным слоем алюминия экспериментально доказана возможность формирования интерметаллидов стехиометрического состава  $TiAl_3$ ,  $TiAl$  и  $Ti_3Al$ .

Показано влияние параметров ионно-плазменной обработки и толщины покрытия алюминия на структурно-фазовые состояния поверхностных слоев сплава ВТ6.

Разработан режим низкотемпературной ионно-плазменной обработки сплава ВТ6 (толщина покрытия алюминия 0,5 мкм, температура ионно-плазменной обработки 500 °С, длительность процесса 1 час) обеспечивающий увеличение износостойкости его поверхности практически на 2 порядка.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В тексте автореферата (раздел актуальность работы) автор утверждает, что благодаря ионно-плазменной обработке удается формировать интерметаллидные слои  $TiAl_3$ ,  $TiAl$  и  $Ti_3Al$  в температурном интервале старения титанового сплава ВТ6. Однако, результаты исследования параметров самой плазмы (концентрация, температура электронов, масс-зарядовый состав ионов плазмы) в тексте автореферата и диссертации отсутствуют, что не позволяет оценить скорость ионного травления поверхности покрытия алюминия.

2. Действительно, довольно интересно знать твердость интерметаллидных слоев. Полностью согласен, что измерить суммарной протяженностью не более 5 мкм методом Микро-Виккерса не представляется возможным. Но, не понятно почему автор при измерении твердости имея хорошо подготовленную поверхность поперечного шлифа не воспользовался нанотвердомером для этих целей. Вместо этого измерялась микротвердость поверхности образцов при различных нагрузках, что не совсем корректно для пленок толщиной меньше 5 мкм.

3. Непонятно для чего в разделе 1.2 азотированию уделено такое внимание (7 страниц), тогда как всем методам осаждения покрытий всего 5 страниц.

4. По тексту работы имеются недочеты:

- стр. 14, последний абзац, вторая строка не хватает слога: чаще все керамическими вместо всего;
- литеры, а и б на рисунке 1.5 на английском языке,
- нет единого стиля оформления литеров на рисунках, где-то «(a)» (например, рисунок 3.4), где-то «a» (рисунок 3.23), шрифт используется то «Time New Roman» (рисунок 4.4), то «Arial» (те же 3.4 и 3.23);

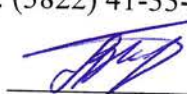
- стр. 40, конец последнего абзаца: в ссылках [104-] отсутствует верхний предел;
- в разделе 2 две таблицы с одинаковой нумерацией (таблица 2.2);
- на дифрактограммах (рис. 3.3, 3.9, 3.22, 3.23) отсутствуют абсолютные значения интенсивности, что не позволяет отследить изменение амплитуды рефлексов.

Приведенные замечания не снижают значимость полученных в диссертационной работе научных результатов.

Диссертационная работа Николаева А.А. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему на высоком методическом уровне. Автореферат отражает содержание диссертации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе – 3 статьи в научных журналах из перечня ВАК, 4 статьи в журналах библиографической базы Scopus. Получен акт от АО Гаврилов-Ямский машиностроительный завод «АГАТ» об использовании результатов работы по повышению износостойкости модифицированных шатунов в паре трения со стальным коленчатым валом. По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости, объему полученных результатов диссертационная работа «Закономерности формирования интерметаллидных поверхностных слоев при ионно-плазменной обработке сплава ВТ6 для повышения триботехнических свойств» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021) и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (Положение о порядке присуждения ученых степеней), а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент,

к.т.н., доцент, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО  
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, Тел.: (3822) 41-33-69  
e-mail: [tyunkov84@mail.ru](mailto:tyunkov84@mail.ru)



Тюньков Андрей Владимирович

«08» ноября 2023 г.

Подпись Тюнькова Андрея Владимировича заверяю  
Ученый секретарь совета университета




Прокопчук Елена Викторовна

«08» ноября 2023 г.