

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Николаева Алексея Александровича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА ВТ6 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация посвящена решению актуальной технологической проблемы – получению интерметаллидных покрытий системы Ti-Al на титановых сплавах из алюминиевого покрытия с помощью ионно-плазменной обработки. Полученные покрытия подвергали трибологическим исследованиям по стандартной методике «шар по диску» (международный стандарт ASTM G 133-95). Адгезионную прочность интерметаллидных слоев с основным материалом исследовали методом царапания согласно стандарту, DIN EN 1071-3 2005-10.

Автор диссертации предложил применить предварительное осаждение алюминиевого покрытия в вакууме, а последующую ионно-плазменную обработку (ИПО) выполнять в среде аргона. Была использована установка для нанесения защитных покрытий при низких давлениях, дооснащенная плазменным источником с накальным катодом. Исходное покрытие толщиной 2,0-2,5 мкм получали на образцах, вращающихся со скоростью 2,5 об/мин, методом дугового испарения при токе 60 А и напряжении смещения -50 В. Последующую ИПО алюминиевого покрытия проводили при токе разряда 70 А, давлении аргона 0,5 Па, напряжении смещения -650 В, что соответствовало температуре 500°C и напряжении смещения - 500 В (450°C). Разработаны температурно-временные режимы создания на титановом сплаве ВТ6 интерметаллидного покрытия, имеющего слоистую морфологию.

С помощью рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, и энерго-дисперсионной спектроскопии было установлено, что структура и фазовый состав подложки (сплав ВТ6) не изменились в процессе нанесения исходного покрытия. На границе «покрытие-подложка» обнаружена узкая область толщиной ~300 нм из наноразмерных зерен Al. Остальная область покрытия до внешней поверхности образца характеризуется ультрамелкозернистой однородной структурой. После ИПО структура покрытия неоднородна, в ней формируется градиентный по фазовому составу и микроструктуре композиционный слой, микротвердость которого, при нагрузке 25 г, составила 640-680 НВ.

Основными научными результатами работы являются:

- слоисто-морфологическое строение интерметаллидного слоя ( $TiAl_3$ , TiAl и  $Ti_3Al$ ) на титановом сплаве ВТ6, повышение температуры ИПО от 450°C до 500°C способствует изменению фазового состава слоя от  $TiAl_3$  к TiAl и  $Ti_3Al$ , увеличение продолжительности ИПО от 30 до 60 мин приводит к увеличению интерметаллидного слоя  $TiAl_3$  от 0,5 до 1,8 мм;
- наибольшей износостойкостью обладают образцы сплава ВТ6 с модифицированной поверхностью ю, состоящей преимущественно из интерметаллида TiAl, присутствие фазы  $TiAl_3$  способствует хрупкому разрушению слоя и снижению износостойкости образцов.

По автореферату диссертации имеются замечания:

1. Оптимизация параметров дугового испарения и ИПО не подтверждена теоретическими обоснованиями, например, методами планированием эксперимента.
2. Суть подхода к оценке кинетики роста интерметаллидных слоев в зависимости от продолжительности ИПО не раскрыта. Отмечен лишь положительный эффект времени обработки на содержание эквивалентной интерметаллидной фазы TiAl.
3. Не отражены применяемые диссертантом методы исследования, необходимые для оценки достоверности полученных результатов при ионно-плазменной обработке.

Однако отмеченные замечания не снижают ценности работы Николаева А.А. и важность полученных в ней результатов.

Считаю, что диссертационная работа по научно-экспериментальному уровню и методической значимости отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Николаев Алексей Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

к.т.н., старший научный сотрудник  
ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Исаков Владимир Владимирович

Подпись Исакова В.В. **завещаю**  
Ученый секретарь ФАУ  
«ЦИАМ им. П.И. Баранова»  
д.э.н., доцент



Джамай Екатерина Викторовна

Федеральное автономное учреждение  
«Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»  
111116 г. Москва, ул. Авиамоторная, 2. Тел (485) 362-40-25  
[vvisakov@ciam.ru](mailto:vvisakov@ciam.ru)  
[www.ciam.ru](http://www.ciam.ru)