

## ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Николаева А.А. на тему «Закономерности формирования интерметаллидных поверхностных слоёв при ионно-плазменной обработке сплава ВТ6 для повышения трибологических свойств».

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения работоспособности титановых сплавов (с высокой удельной прочностью) в узлах трения в современных малогабаритных двигателях внутреннего сгорания специального назначения.

В автореферате четко сформулирована цель работы и приведен перечень решаемых задач по изучению особенностей формирования структуры и фазового состава покрытий при двух-стадийной обработке: предварительное осаждение алюминия и титана, последующая ионно-плазменная обработка.

Научная новизна работы заключается в том, что в результате проведенных исследований выявлены закономерности формирования градиентно-композиционной структуры покрытия, состоящей из интерметаллидов  $TiAl_3$ ,  $TiAl$ ,  $Ti_3Al$ , зерен  $\alpha$ -фазы и эвтектоида ( $\alpha+\beta$ ). Установлено, что наилучшими трибологическими свойствами обладают покрытия на основе интерметаллида  $TiAl$ . Необходимо также отметить, что у границы «покрытие – подложка» выявлен подслой  $\approx 300$  нм, состоящий из nano размерных зерен алюминия. Учитывая размерные особенности наноструктур, в частности повышенную поверхностную энергию, по-видимому наличие наноструктурного подслоя и является одной из причин высокой адгезионной прочности.

Основным достоинством автореферата является большой объем научно- и практически значимой информации полученной в результате использования современных методов исследований: просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, энерго-дисперсионная спектрометрия, а также методов и средств по определению трибологических свойств. Это является показателем высокой профессиональной подготовки соискателя по методам анализа и исследования структуры, фазового состава и свойств титановых сплавов.

Практическая значимость работы заключается в использовании предлагаемого технологического процесса для обеспечения трибологических свойств рабочей поверхности детали «Шатун» двигателя внутреннего сгорания.

### Вопросы, замечания и пожелания по автореферату.

1) Ключевыми словами названия диссертации являются «Закономерности формирования ... поверхностных слоёв ...». Физической основой этих закономерностей являются диффузионные процессы, поэтому возникает вопрос: «Почему в автореферате отсутствуют данные о диффузионных свойствах Ti и Al и особенностях диффузионного механизма формирования интерметаллидов (TiAl)?»

2) На стр. 16, 17 автореферата рассмотрено влияние температурно-временных параметров и концентрации реакционного алюминия на формирование поверхностного слоя, однако в результатах и выводах (стр. 20, 21) отсутствуют сведения по предлагаемому технологическому процессу с указанием конкретных значений параметров (режимов): температура, время, толщина алюминиевого слоя, электрические параметры испарения, ёмкости испарительных ванн, давление, вакуум. Наличие значений перечисленных параметров полного технологического процесса повысило бы практическую значимость автореферата.

3) На стр. 15 приведен фазовый состав композиционного слоя, а для возможности оценки работоспособности слоя целесообразно было бы указать соответствующие (рекомендуемые) значения микротвердости.

4) На основе анализа рис. 8 стр. 18 выявлено существенное отличие в характере снижения микротвердости исходного слоя алюминия толщиной 2,5 мкм. Это отличие соискатель объясняет наибольшим содержанием фазы TiAl<sub>3</sub> в этом слое по сравнению с тонкими слоями 0,5..1,0 мкм. На основании этого предложения в данной работе целесообразно было бы решить вопрос по определению максимально допустимого содержания фазы TiAl<sub>3</sub> в зависимости от требуемого значения микротвердости поверхности и характера его изменения по толщине слоя покрытия.

5) В автореферате отсутствуют сведения по статистической обработке экспериментальных данных, которые позволяют оценить достоверность, адекватность и значимость трибологических показателей.

Указанные вопросы, замечания и предложения не снижают общей значимости работы, результаты которой вносят определенный вклад в теорию и практику формирования износостойких покрытий на деталях из титановых сплавов.

По научному и практическому содержанию и по результатам выполненных исследований, представленных в автореферате, кандидатская диссертация Николаева Алексея Александровича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», а

соискатель Николаев А.А. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Профессор кафедры Материаловедения,  
литья и сварки ФГБОУ ВО «Рыбинский  
государственный авиационный  
технический университет имени П.А.  
Соловьева, к.т.н. по специальности  
05.16.01 «Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов»,  
профессор

*науку*

Жуков  
Анатолий  
Алексеевич

152934, г. Рыбинск, улица Пушкина 53.  
Тел – 8-9051322699  
E-mail: mls@rsatu.ru

Подпись Жукова Анатолия Алексеевича  
утверждаю, Ученый секретарь  
совета РГАТУ имени П.А. Соловьева



Волков  
Сергей  
Александрович