

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чижова Игоря Викторовича «Структурно-фазовые состояния и физико-механические свойства наноструктурированных покрытий TiAlCuN, TiAlCuCN, TiAlSiN, TiAlSiCN для космической техники», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Чижова И.В. посвящена исследованию закономерностей формирования и физико-механических свойств наноструктурированных покрытий TiAlCuN, TiAlCuCN, TiAlSiN, TiAlSiCN. Актуальность исследования обусловлена потребностью космической техники и машиностроения в защитных покрытиях с заданным комплексом трибологических, оптических и электрофизических характеристик, обеспечивающих надёжность систем в экстремальных условиях эксплуатации.

Работа содержит новые научные результаты, расширяющие представления в области физики конденсированного состояния и космического материаловедения:

Установлены физико-химические закономерности формирования композитных нитридных и карбонитридных покрытий на основе системы титана и алюминия методом реактивного магнетронного нанесения, включая воспроизводимость концентраций легирующих элементов (Cu: 6,15 – 10,32 ат. %, Si: 6,49–10,05 ат. %) и интенсификацию скорости роста плёнок на 4,6 % при введении ацетилена в реакционную среду.

Выявлены закономерности изменения структурно-фазового состояния: формирование однофазных неупорядоченных твёрдых растворов (Ti, Al)N и (Ti, Al)(C, N) с сегрегацией аморфных прослоек Cu/Si на границах кристаллитов, что позволяет управлять в широких пределах размером зерна (34–184 нм) без выделения самостоятельных фаз.

Экспериментально доказана возможность целенаправленного управления оптическими, электрофизическими (снижение удельного сопротивления в 4 – 7,5 раз) и трибомеханическими свойствами покрытий (повышение твёрдости до 49 ГПа, снижение коэффициента трения на 12,5–21,6 % и скорости износа на 82,9–97,6 % ) при введении углерода.

Основные положения и выводы диссертации обоснованы. Достоверность результатов подтверждена комплексом взаимодополняющих методов (СЭМ, ЭДС, АСМ, РФА, наноиндентирование, трибологические и оптические испытания), корректной математической обработкой данных и их согласованностью с современными представлениями физики тонких плёнок.

В качестве замечания отмечаю: анализ морфологии и химического состава треков износа (методами СЭМ/ЭДС) позволил бы уточнить доминирующие механизмы изнашивания (абразивный, адгезионный, окислительный). Данное обстоятельство не снижает научной ценности работы, однако его учёт в перспективных дальнейших исследованиях позволит глубже раскрыть природу трибологического поведения разработанных композитов.

Основные результаты опубликованы в 40 научных работах, включая 8 статей в рецензируемых журналах (соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней в Республике Беларусь), а также в материалах международных конференций и тезисах докладов.

Содержание автореферата и публикации позволяют заключить, что диссертационная работа Чижова И.В. выполнена на высоком научном уровне, полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за вклад в развитие технологий функциональных покрытий для аэрокосмической отрасли.

Даю согласие на публикацию данного отзыва в сети Интернет.

Заместитель начальника по научному развитию  
ГЦ «Белмикроанализ» НТЦ ОАО «ИНТЕГРАЛ» –  
управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»  
доктор технических наук, профессор  
член-корреспондент НАН Беларуси

04.05.2026г.



В.А.Пилипенко