

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Иванова Николая Андреевича «Исследование и разработка многослойных композитных покрытий Ta/W, напыленных системой инвертированных магнетронов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Вольфрам, сочетающий в себе такие свойства, как высокая температура плавления, высокая плотность и износостойкость, а также низкий коэффициент ионного распыления и низкую водородную проницаемость, является весьма востребованным материалом в аэрокосмической и атомной отраслях. Покрытия на основе W могут применяться для работы в условиях экстремальных тепловых нагрузок и ионной бомбардировки. Однако недостатком W является его хрупкость.

Сплавы Ta-W обладают более высокой коррозионной стойкостью и лучшими механическими свойствами по сравнению с чистым вольфрамом.

Ta/W покрытия находят применение в качестве диффузионных барьеров а также износостойких покрытий. Путём улучшения свойств покрытий Ta/W является реализация в них наноструктуры и многослойной архитектуры в том числе и в виде мультискалярных покрытий, представляющих собой композиционно-модулированные многослойные материалы, состоящие из пакетов чередующихся нанослоев двух материалов и слоев микронного масштаба одного из этих же материалов.

Вышеуказанный широкий спектр структур Ta/W покрытий приводит к необходимости использования большого диапазона значений их толщин – от толстых до наноразмерных, что позволяет формировать различную архитектуру этих покрытий – от однокомпонентных монослойных до многослойных композитных. При этом реализация этих процессов на практике должна обеспечивать их высокую производительность. Для создания подобных покрытий в основном используются планарные магнетроны, в то время как автор применяет более производительные инвертированные магнетроны.

В связи с вышеизложенным диссертационная работа в области исследования процессов нанесения различных вышеуказанных видов Ta/W многослойных композитных покрытий инвертированными магнетронами, обеспечивающими более высокую скорость напыления и позволяющими более эффективно формировать покрытия на изделиях сложной формы по сравнению с планарными магнетронами, является **актуальной**.

Наиболее важными результатами диссертационной работы являются следующие:

- установлены закономерности текстурообразования в четырехслойном Ta/W/Ta/W покрытии, полученном с помощью распылительной системы инвертированных магнетронов, от напряжения на подложке.

- разработана методика формирования и получено опытное мультискалярное многослойное покрытие Ta-Ta/W с величиной микротвердости существенно более высокой, чем микротвердость аналогичных по составу многослойных покрытий с одинаковым периодом модуляции;

В качестве замечания по автореферату следует указать следующее:

-автор позиционирует свою работу как исследование в области создания мультискалярных покрытий, представляющих собой композиционно-модулированные

многослойные материалы, состоящие из пакетов чередующихся нанослоев двух материалов и слоев микронного масштаба одного из этих же материалов. К сожалению, в автореферате отсутствуют изображения данных структур, подтверждающих прогнозируемое архитектурное строение;

- в таблицах, содержащих результаты определения физико-механических свойств покрытий отсутствуют погрешности измерений. Это затрудняет оценку значимости полученных величин и анализа их изменений от меняющихся параметров осаждения;

- анонсируя в автореферате содержание пятой главы диссертации, автор пишет, что она содержит результаты исследований износостойкости мультискалярных покрытий, к сожалению, в автореферате они отсутствуют.

Отмеченные замечания в целом не меняют общего положительного впечатления о представленной диссертационной работе. Судя по автореферату, диссертация является законченной научно-технической работой, имеющей значение для аэрокосмической и атомной промышленности.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базе Scopus.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Иванов Николай Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Профессор МИСИС,  
д.т.н., профессор  
Тел. +74992367085

Игорь Викторович Блинков  
E-mail: biv@misis.ru

Подпись И.В. Блинкова удостоверяю,

Должность

Зам. нач-ка отдела  
Кадров



Ф.И.О.

Адрес организации: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»