

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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»

Актуальность работы.

Несмотря на то, что концепция «мультишкалярных покрытий», в частности, тугоплавких, была предложена уже более 30 лет назад, они до настоящего времени все еще широко не используются для решения задач, в которых они были бы вне конкуренции. Эти покрытия представляют собой композиционно-модулированные многослойные материалы, состоящие из пакетов слоев существенно разной толщины – от нанослоев до слоев микронного масштаба одного из этих же материалов. Другими словами, мультишкалярные покрытия являются важным подмножеством метаматериалов, преимущества которых были выявлены десятилетие спустя.

В частности, тугоплавкие покрытия, прежде всего на основе W, используемые в различных конструкциях, работающих при экстремальных нагрузках, например деталях авиационных двигателей, нуждаются в повышении термомеханической стабильности в отношении расслоения, а также улучшении других механических характеристик. Это может быть достигнуто с помощью различных вязких добавок, например, Ta. При этом архитектура покрытий в смысле толщин слоев, количества пакетов и т.д. диктует необходимость исследования в широком пространственном диапазоне их толщин – от микрометровых до наноразмерных.

Известные методы нанесения мультишкалярных TaW покрытий, такие как импульсное лазерное осаждение, электро-осаждение и распыление планарными магнетронами постоянного тока, обычно применяются для плоских подложек. Для промышленности же необходимо обеспечить нанесение с высокой скоростью покрытий на детали сложной формы, в частности тела вращения. Данная задача может быть решена напылением покрытия инвертированными магнетронами. В этой связи разработка технологии нанесения мультишкалярных покрытий Ta/W системой инвертированных магнетронов, а также исследование свойств самих покрытий весьма **актуальны**.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы Иванова Н.А. может быть сформулирована в нескольких тезисах:

- установлены закономерности текстурообразования в четырехслойном толстом Ta/W/Ta/W покрытии и обнаружено образование на плоской подложке псевдомонотекстуры (111) текстуры с шириной текстурного максимума 12°-14°;

- эти закономерности зависят в основном от напряжения на подложке, но отличаются для слоев W и Ta, при величине напряжения на подложке -100В реализуется особый механизм текстурообразования, который проявляется в реализации эпитаксиального соотношения между ориентировками слоев;

- показано, что наличие монокристаллической (111) текстуры Ta соответствует максимальной величине модуля Юнга и, соответственно, сил межатомной связи нормально плоскости покрытия, следствием чего может быть улучшение трибологических характеристик многослойных покрытий с внешним Ta слоем;

- впервые с помощью системы инвертированных магнетронов получено опытное мультискалярное многослойное покрытие Ta-Ta/W, исследована его текстура и обнаружены новые закономерности ее формирования при напылении на плоскую и цилиндрическую подложки;

- показано, что микротвердость мультискалярных покрытий, полученных с помощью системы инвертированных магнетронов, существенно выше микротвердости обычных аналогичных по составу многослойных покрытий.

Практическая значимость работы

Разработано модернизированное оборудование для изготовления многослойных покрытий различных конструкций с помощью системы инвертированных магнетронов.

Разработана методика применения данного оборудования для формирования мультискалярных композитных покрытий, которая может быть распространена на покрытия сложного состава – нитриды, оксиды и др.

Наиболее значимым для практики результатом работы является разработка толстого четырехслойного Ta/W/Ta/W покрытия и найдены технологические варианты получения покрытий с контролируемой кристаллографической ориентацией.

Результаты работы использованы на практике при нанесении защитных покрытий на оснастку сложной формы для изготовления высокотемпературных фильтроэлементов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследования поверхности материалов, использовани-

ем сертифицированного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

Публикации. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 6 научно-технических конференциях, опубликованы в 12 печатных работах, в том числе в 2 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и 4 статьях, индексируемых в международной системе цитирования Scopus.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 137 наименований и приложений. Работа содержит 126 страниц машинописного текста, 48 рисунков, 18 таблиц.

По работе можно сделать следующие замечания.

1. Выводы по первой главе частью общеизвестны (3), а частью недостаточно обоснованы (8).

2. В главе 2 обилие фотографий экспериментального оборудования не заменяет необходимых пояснений их принципа работы. Например, из фото на рис. 28 неясен принцип действия «устройства для определения температуры Impac-140». Остается только догадываться, что это пирометр. В то же время рис. 27 ничего не дает для понимания сути работы.

3. В главе 3 результаты исследований, например, обратные полюсные фигуры (ОПФ), методики которых кратко описаны в главе 2, сложно воспринимаются без соответствующей материаловедческой подготовки, возможно именно потому, что методики и результаты разнесены по главам.

4. 6-й вывод по главе 4 носит качественный характер – «удовлетворительная адгезия», что контрастирует с другими выводами, в которых фигурируют конкретные цифры, и это снижает значимость вывода.

5. Представленные в 5-й главе результаты исследований мультискалярных покрытий, к сожалению, не содержат анализа зависимости их свойств от геометрических параметров, собственно и определяющих их преимущества перед однородными.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации. Тема диссертации соответствует заявленной специальности, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы. Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью, является самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой. В диссертации решена важная задача по разра-

ботке нового подхода к созданию композитных покрытий с повышенными прочностными свойствами на основе системы Ta-W, имеющая существенное значение в технологиях нанесения покрытий. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической, атомной и других отраслях промышленности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем 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».

Официальный оппонент кандидат технических наук, главный специалист ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

Щитов Николай Николаевич

20.11.2023 г.

Подпись к.т.н., Щитова Николая Николаевича удостоверяю

Старший специалист по кадрам
(должность)



Митяева О.В.
Ф.И.О.

Наименование организации: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»)

Адрес организации: 101000, г. Москва, Моспочтамт, а/я 918

Юридический адрес: Россия, 127030, г. Москва, Сущевская ул., д. 22

Тел.: (499) 978-7803

Факс: (499) 978-0903, (499) 978-0578

E-mail: vniia@vniia.ru

