

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Костромской государственный
университет»
(КГУ)

Дзержинского ул., д. 17, г. Кострома, 156005
Тел. (4942)31-48-14, факс (4942)31-70-08
E-mail: info@kstu.edu.ru.

«УТВЕРЖДАЮ»

И.О. ректора ФГБОУ ВО Костромской
государственный университет

Наумов А. Р.



№ _____

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственный университет» на диссертационную работу Павлова Ю.С.

«Исследование состава, структуры и свойств магнетронных твердосмазочных покрытий TiN-Pb», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Актуальность работы

Твердые смазочные материалы и противоизносные покрытия с успехом использовались в космической отрасли с самого начала работ по созданию космических аппаратов. Материалы на твердой основе наиболее полезны при использовании в условиях колебаний температур эксплуатации, вакуумной среды, то есть необходимости использования материалов с очень низким давлением пара, при необходимости работать как в воздухе, так и в космическом вакууме и т.д. На космических кораблях используется относительно немного типов твердых смазочных материалов. Среди них наиболее часто используемый дисульфид молибдена (MoS₂) и материалы с низкой прочностью на сдвиг, такие как Pb, In, Cu, Ag, графит, обладающие низким коэффициентом трения (~0,01-0,1), но при этом имеющие низкий ресурс. Поэтому для улучшения трибологических свойств твердосмазочных покрытий (ТСП), в настоящее время, используются

композиционные покрытия, состоящие из твердой матрицы и смазочного материала.

В этой связи диссертационная работа Павлова Ю.С., посвященная исследованию состава, структуры и свойств композиционных магнетронных твердосмазочных покрытий TiN-Pb, является актуальной.

Общая характеристика работы для исследований

Автором в работе представлен аналитический обзор литературы по современному состоянию исследований в области создания эффективных твердосмазочных покрытий.

На основе проведенного автором анализа обоснован выбор состава опытного композиционного ТСП TiN-Pb, перспективного для получения повышенных значений служебных характеристик, получаемого магнетронным распылением.

Большое внимание автором уделено установлению закономерностей влияния параметров магнетронного осаждения на формирование фазового состава, текстуры и морфологии, а также на микротвердость и износостойкость композитных TiN-Pb покрытий. Показано, что доля Pb в составе покрытий TiN-Pb и фазовый состав покрытий определяются током на Pb-катоде, а также отношением потоков аргона и азота и параметрами работы ионного источника. Обнаружена также корреляция текстуры покрытий с микротвердостью.

Установлено, что при напылении TiN-Pb покрытий на VT6 происходит азотирование путем захвата газа подложкой, а также имплантацией атомов отдачи азота при их бомбардировке на подложке распыленными тяжелыми атомами свинца, имеющими среднюю энергию около 30 эВ, а также при ионном ассистировании прямой имплантацией ионов азота с энергией $E \leq 1$ кэВ.

В работе показано, что нанесение покрытий с помощью со-распыления катодов двух отдельных магнетронов позволяет существенно расширять возможности управления их составом и структурой. Следует отметить, что нанесение покрытий проводилось на современной установке УВМ-700-4М, оснащенной 4-мя прямоугольными магнетронами и протяженным ионным источником, позволяющей проводить напыление как на постоянном токе,

так и в среднечастотном режиме, эффективном при реакционном напылении.

На заключительном этапе работы были исследованы трибологические свойства покрытий TiN-Pb.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы Павлова Ю.С. заключается в том, что впервые показано, что фазовый состав магнетронных покрытий TiN-Pb определяется в основном током на Pb катод, расходом азота и, при использовании ионного ассистирования, параметрами ионного пучка.

Для покрытий на сплаве ВТ6 обнаружена более высокая твердость по сравнению с покрытиями на 12Х18Н10Т, что связано с эффектом упрочнения титановой подложки низкотемпературным ионным азотированием, происходящим по механизму захвата N₂ подложкой, а также имплантацией азота как в виде атомов отдачи при напылении свинца, так и при ионном ассистировании. При этом установлена корреляция текстуры с микротвердостью магнетронных покрытий TiN-Pb на ВТ6 и стали 12Х18Н10Т, которая проявляется в трехкратном увеличении полюсной плотности (111) и резком снижении твердости покрытий при увеличении отношения потоков Ar и N₂ от 2,08 до 4,3.

Показано, что коэффициент трения монослойного покрытия TiN-Pb, полученного со-распылением отдельных магнетронов, меньше коэффициента трения многослойного покрытия TiN-Pb и составил 0,2, оставаясь практически неизменным до 30 тысяч циклов.

Практическая значимость работы

Установление закономерностей управления составом, структурой и свойствами твердосмазочных покрытий, получаемых магнетронным со-распылением отдельных мишеней Ti и Pb с ионным ассистированием, позволило получать твердосмазочные покрытия TiN-Pb с повышенной износостойкостью. В связи с задачами продления срока службы космических аппаратов на орбите было разработано лабораторное оборудование для проведения исследований по оптимизации состава и свойств твердосмазочных покрытий на основе TiN-Pb для различных условий эксплуатации.

Разработаны способы управления структурой, химическим и фазовым

составом твердосмазочных покрытий на основе системы Ti и Pb.

Разработана схема плазменной очистки подложек и внутрикамерных поверхностей повышенной эффективности.

Достоверность полученных результатов обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследования поверхности материалов, использованием сертифицированного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. В работе отсутствует обоснование использования в качестве подложек образцов из сталей 12Х18Н10Т и 30ХГСА, Мо и сплавов Inconel X-750 и ВТ6 – стр. 39 и стр. 61.
2. В покрытиях обнаружено большое количество кислорода, присутствующего в виде тетрагональной модификации PbO_t и нескольких типов оксидов с различной стехиометрией (Pb_3O_4 , Pb_2O_3 , PbO_2 , $Pb_{12}O_{19}$) и оксинитридов свинца. В работе не дается оценка роли этого эффекта на трибологические характеристики покрытий.
3. Покрытия, нанесенные при токе на Pb катоде 0,2 А характеризуются повышенным содержанием Pb и отсутствием линий TiN на дифрактограммах несмотря на наличие Ti и N в значительном количестве. Автор считает, что можно предположить, что при повышенных значениях тока на Pb катоде происходит аморфизация TiN за счет изменения механизма формирования нитрида – стр. 49.
4. В тексте диссертации имеются опечатки, например, на странице 45 напечатано «изменения в имическом и фазовом составе».

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по управлению составом, структурой и трибологическими характеристиками твердосмазочных покрытий системы Ti-Pb.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 5 научно-технических конференциях, опубликованы в 12 печатных работах, в том числе в 2 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и 5 статей, регистрируемые в базе данных Scopus.


Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической технике, а также в 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, Павлов Юрий Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры химии института физико-математических и естественных наук ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», протокол № 3 от 15 ноября 2022 года. На заседании присутствовало 9 членов из 9. Результаты голосования: «за» – 9, против – нет, воздержавшихся – нет.

Директор института физико-математических
и естественных наук КГУ, д.т.н., доцент


Кусманов Сергей
Александрович

Адрес организации: 156005, Костромская область, г. Кострома, ул. Дзержинского, д.17

Наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет»

Электронный адрес: sa_kusmanov@ksu.edu.ru

Телефон: +7(920)647-30-90

Подпись руки _____
заверяю _____
Начальник канцелярии _____
Н.В. Кузнецова _____



22.11.2022