

ОТЗЫВ

официального оппонента 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.

Для смазки узлов и систем космической техники, функционирующих в условиях вакуума жидкие материалы не применяются из-за высокого давления паров. Поэтому на космических аппаратах используются твердые смазочные покрытия из материалов с очень низким давлением пара и низкой прочностью на сдвиг, такие как Pb, In, Ag и др. обладающие низким коэффициентом трения, но имеющие малый срок службы. Кроме того, не все они могут эффективно работать как в воздухе, так и в космическом вакууме. 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

В ходе выполнения работы автором был проведен обзор современной научно-технической и патентной литературы в области создания эффективных твердосмазочных покрытий.

Результатами проведенного критического анализа был обоснован выбор для исследований опытного композиционного ТСП TiN-Pb, перспективного для получения повышенных значений служебных характеристик. Проанализировав современные методы нанесения покрытий, автор убедительно обосновал использование для формирования TiN-Pb магнетронных распылительных систем по схеме с разделенными магнетронами с моноэлементными катодами, что позволило надежно и в широком диапазоне управлять составом покрытий. Наличие ионного источника на установке напыления позволило проводить и ионно-

ассистированное нанесение покрытий, что также расширило возможности исследований.

Базовыми в работе являются исследования влияния параметров магнетронного осаждения на химический и фазовый состав, структуру, морфологию, микротвердость и износостойкость моно- и многослойных TiN–Pb покрытий, нанесенных на различные подложки. В результате этих исследований установлены определяющие состав и структуру параметры процесса напыления, а именно ток на Pb-катоде, отношение потоков аргона и азота и параметры работы ионного источника.

Показано, что перенос распрыленных атомов к подложке вследствие большой разницы масс титана и свинца представляет двоякий процесс. Эффективное рассеяние атомов титана на близком по массе аргоне представляет диффузионный перенос, в то время как тяжелые атомы свинца демонстрируют баллистический перенос, весьма слабо рассеиваясь.

Установлено, что при напылении TiN–Pb на VT6 получено более высокое значение твердости покрытий, чем на стали 12X18H10T, из-за азотирования подложки как путем захвата газа подложкой, так и имплантацией атомов отдачи азота при их бомбардировке на подложке распрыленными тяжелыми атомами свинца, имеющими среднюю энергию около 30 эВ, а также прямой имплантацией ионов азота с энергией $E \leq 1$ кэВ при ионно-ассистированном напылении. В работе представлены результаты исследований трибологических свойств покрытий TiN–Pb, которые показали их эффективность.

Научная новизна.

Наиболее важным и впервые установленным результатом диссертационной работы Павлова Ю.С. является экспериментальное доказательство того, что фазовый состав магнетронных покрытий TiN–Pb определяется в основном током на Pb катоде, расходом азота и, при использовании ионного ассистирования, параметрами ионного пучка. Эти параметры, наряду с дистанцией магнетрон-подложка, являются наиболее важными для формирования определенной структуры и химического и фазового состава покрытий.

Установленная корреляция текстуры с микротвердостью магнетронных покрытий TiN-Pb на ВТ6 и стали 12Х18Н10Т проявляется в резком снижении твердости покрытий и в трехкратном увеличении полюсной плотности (111) при увеличении отношения потоков Ar и N₂ от 2,08 до 4,3.

Более высокая твердость покрытий TiN-Pb на сплаве ВТ6 по сравнению с покрытиями на 12Х18Н10Т объясняется 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.

Результаты трибологических испытаний полученных образцов показали, что до 30 тысяч циклов коэффициент трения монослойного покрытия TiN-Pb, нанесенного реакционным магнетронным распылением двух отдельных моноэлементных катодов, оставался практически неизменным и составил 0,2, что меньше коэффициента трения многослойного покрытия TiN-Pb.

Практическая значимость работы

Результаты исследования композиционного твердосмазочного покрытия TiN-Pb позволяют создавать его при различных сочетаниях состава и структуры для применения при различных условиях эксплуатации. Кроме того, полученный банк данных по покрытию TiN-Pb облегчает попытки дальнейшего совершенствования покрытия путем его дозирования другими элементами.

Получено опытное твердосмазочное покрытие TiN-Pb с повышенной износостойкостью и разработан способ его получения на основе магнетронного со-распыления отдельных мишеней Ti и Pb с ионным ассистированием.

Разработано лабораторное оборудование для оптимизации состава и свойств ТСП на основе TiN-Pb для различных условий эксплуатации и схема плазменной очистки подложек и внутрикамерных поверхностей повышенной эффективности.

Достоверность полученных результатов обеспечивается выбором необходимых и достаточных методов анализа структуры и свойств ТСП с использованием стандартных методик исследования поверхности и аттестованного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

По работе можно сделать следующие замечания:

- 1 В работе на стр. 50 указано, что увеличение расхода азота приводило к уменьшению толщины TiN-Pb покрытий, а объяснения этого эффекта не приводится.
- 2 В покрытиях TiN-Pb, полученных при разных режимах напыления, обнаружено довольно много кислорода, однако не указаны его источники.
- 3 Автор справедливо указывает, что азотирование титана с помощью ионно-плазменных процессов протекает при существенно более низких температурах по сравнению с термодиффузионным процессом (стр. 75), однако не приводит численных значений температур подложек при напылении TiN-Pb покрытий на сплав ВТ6.
- 4 Рисунок 27, текст к которому расположен на стр. 69, расположен после выводов по главе 3.

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 химическим и фазовым составом, структурой, а также, трибологические испытания 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 диссертационного исследования могут быть использованы для перспективных изделий авиационной и космической техники нового поколения, а также в других отраслях промышленности.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают 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».

Овчинников Виктор Васильевич

Заведующий кафедрой

Кафедра «Материаловедение», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Д.т.н., профессор

Овчинников Виктор Васильевич

21.11.2022

подпись Овчинникова В.В. заверяю

Специалист по
кадровому
делопроизводству
Бирюкова И.



Адрес организации: 107023, г. Москва, ул. Большая Семёновская, 38

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Электронный адрес: <https://mospolytech.ru/>

Телефон: +7 (495) 223-05-23