

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Крысиной Ольги Васильевны по теме: «Генерация газометаллической плазмы в
дуговых разрядах низкого давления для синтеза многокомпонентных
нанокристаллических защитных покрытий», представленную к защите на
соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Актуальность темы диссертации

В современном машиностроении и авиакосмическом производстве нашли широкое применение перспективные методы вакуумной упрочняющей поверхностной обработки на основе воздействия на обрабатываемую поверхность плазменных потоков. Формируемая при этом поверхностная структура реализует комплекс свойств, определяющий эксплуатационные характеристики изделия в целом. Воздействуя на обрабатываемую поверхность, высокоэнергетические потоки газометаллической плазмы осуществляют процессы модификации поверхности и процессы формирования сложных многослойных многокомпонентных покрытий с заданным уровнем свойств.

Сложность и многогранность физических процессов, протекающих при взаимодействии высокоэнергетических частиц плазменных потоков с поверхностью при её модифицировании и формировании покрытий, приводит к длительным и трудоёмким поэтапным экспериментальным работам при создании новых ионно-плазменных устройств, технологических процессов и покрытий. Значительный к ним интерес способствует бурному развитию научных исследований и технологических разработок по совершенствованию традиционных и созданию новых методов воздействия на поверхность с целью придания ей необходимых эксплуатационных свойств.

Возникшие в последние десятилетия направления исследований, связанные с получением многокомпонентных нанокристаллических покрытий, потребовали поиска новых решений оптимизации элементных составов покрытий, которые бы обладали высокими физико-механическими показателями, а также разработки способов и оптимизации режимов их синтеза. Самой предпочтительной базовой системой для дальнейших перспективных исследований может являться бинарная система TiN, позволяющая реализовать новый комплекс свойств за счёт легирования данной системы дополнительными элементами, такими как Si, Al, Cr и другими, формирующими сложные соединения. Дополнительное легирование нитридных покрытий, наряду с формированием нанокристаллической структуры, позволяет формировать уникальные свойства обрабатываемых поверхностей.

Реализация данного направления исследований осуществлялась в работе на малоизученной многокомпонентной системе Ti–Cu–N с относительно низкой концентрацией меди (до 12 ат.%). Данная система, обладая огромным потенциалом, при оптимальном составе и способе осаждения, позволяет реализовывать сверхтвердое состояние (до 45 ГПа) с высоким уровнем износостойкости, а также низким коэффициентом трения, повышенной стойкостью к окислению, хорошей адгезионной прочностью к подложке, что позволяет использовать его в качестве защитного слоя на разных изделиях, тем самым многократно увеличивая их срок службы.

Следующим значительным объектом исследований в работе является газометаллическая плазма, генерируемая при совмещённой работе плазменного источника на основе несамостоятельного дугового разряда с комбинированным накаленным и полым катодами и электродугового испарителя на основе самостоятельного дугового разряда с интегрально-холодным катодом. В качестве материала испаряемого катода используются перспективные композиционные материалы системы Ti–Cu с разной концентрацией меди. Кроме этого, в работе исследуются вопросы влияния режимов плазменного ассистирования на свойства нитридных покрытий с целью выявления параметров дуговых разрядов, при которых существенно улучшаются свойства формируемых покрытий по сравнению с покрытиями, осажденными в стандартных режимах.

Таким образом, цели, поставленные в диссертационной работе, а, именно, проведение комплексных исследований генерации газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления для осаждения сверхтвердых покрытий с нанокристаллической структурой и высокими физико-механическими характеристиками, разработка процессов вакуумно-дугового плазменно-ассистированного нанесения многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий и выявление влияния режимов плазменно-ассистирования на свойства синтезированных нитридных покрытий является **актуальной**, а решение задач, связанных с достижением данной цели, позволяют использовать результаты диссертационной работы не только в научном плане, но и для практического применения.

Стоит отметить, что ионно-плазменное оборудование для генерации газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления и синтеза покрытий, которое использовалось при решении задач диссертации, разрабатывается и создается в Институте сильноточной электроники СО РАН в лаборатории плазменной эмиссионной электроники.

Научная новизна

В диссертационной работе Крысиной О.В. на основе всестороннего анализа и проведения комплексных исследований установлены особенности существования

катодных пятен и процессы генерации плазмы вакуумной дугой при испарении спеченных материалов системы Ti–Cu с разной концентрацией меди, что позволило обосновать целесообразность их использования в качестве катодов для синтезаnanoструктурных сверхтвердых нитридных покрытий системы Ti–Cu–N. Автором доказано, что применение спеченных композиционных катодов системы Ti–Cu в режимах осаждения покрытий системы TiN позволяет получить сверхтвердые Ti–Cu–N покрытия с уникальным набором физико-механических свойств, при этом эксплуатационно-технические характеристики катодов Ti–Cu и Ti – одинаковы, а свойства катодных пятен практически не отличаются для композиционных катодов Ti–Cu с низкой концентрацией меди и титанового катода.

Разработанный способ вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения нитридных покрытий, позволил осуществить их переход в разряд нанокристаллических с обеспечением сверхтвердости (≥ 40 ГПа) и высоких защитных и прочностных свойств, что подтверждается положительными результатами комплексных исследований Ti–Cu–N покрытий.

Выявленный автором эффект влияния режимов плазменно-ассистирования на характеристики (структуру, элементный состав и физико-механические свойства) нитридных покрытий несомненно является научной новизной. Установленные закономерности процесса ассистирования при вакуумно-дуговом осаждении, осуществляемым с применением азотной плазмы, является значительным научным вкладом в процесс создания генерируемых плазменных источников с комбинированным накальным и полым катодом.

Степень обоснованности и достоверности результатов

Достоверность результатов и обоснованность выводов, сформулированных в работе, обеспечена корректностью постановки задач исследований, применением современных методов и приборов исследования, воспроизводимостью результатов, согласием контрольных результатов экспериментов с литературными данными. Результаты исследований подробно обсуждались на многих всероссийских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах.

Практическая значимость

Научные результаты исследований нашли практическое применение при решении вопроса повышения износостойкости реальных деталей. Кратное увеличение их износостойкости наглядно подтвердило эффективную работоспособность разработанных многокомпонентных нанокристаллических покрытий, что подтверждается актами внедрения, приведенными в приложениях к диссертации.

Проведённые автором исследования способствовали оптимизации режимов вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения покрытий и позволили автору получить для нитридных покрытий новые значения эксплуатационных свойств. Достижение нового уровня свойств: сверхтвердости (≥ 40 ГПа), высокой степени упругого восстановления ($> 50\%$), низкого коэффициента трения ($\approx 0,2$), высокой износостойкости (< 3000 мкм³/Н·м), высокой адгезионной прочности к подложке (> 30 Н), хорошей термической стабильности (до 1100 °C), увеличенной стойкости к окислению (до 800 °C), значительно расширило область применения данного вида покрытий

Содержание работы

Диссертационная работа выполнена в объеме 192 страниц печатного текста и содержит введение, четыре главы, заключение, 3 приложения, 101 рисунок, 19 таблиц. Библиография включает 296 наименований.

Автор представленной работы основательно изучил состояние дел и литературу, что нашло отражение в довольно обширном литературном обзоре (первая глава диссертации). Анализ литературных данных по изучаемому вопросу позволил автору сформулировать цель и задачи исследований. Стоит отметить, что решение поставленных задач носит комплексный подход, в соответствии с которым последовательно проведены исследования процессов формирования покрытий, включающие: процессы генерации металлической и газометаллической плазмы при испарении катодов моно- и полиэлементного состава в дуговых разрядах низкого давления; совмещённые процессы плазменно-ассистированных процессов электродугового осаждения, а также основные характеристики синтезируемых нитридных покрытий; разработка процессов вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий на основе нитрида титана с добавочными элементами; комплексные исследования структурно-фазовых, физико-механических и эксплуатационных характеристик многокомпонентных нитридных защитных покрытий.

Содержание диссертации достаточно полно изложено в 32 печатных работах, из которых 8 статей опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 1 коллективная монография, 1 глава в монографии, а также 22 доклада в трудах международных и всероссийских конференций.

Результаты работы автора могут в дальнейшем быть использованы при разработке и оптимизации способов осаждения нанокристаллических нитридных защитных покрытий ионно-плазменными методами с использованием композиционных катодов на основе титана с дополнительными элементами, а также для увеличения износостойкости разных деталей и изделий после

нанесения Ti–Cu–N покрытий, разработанных и подробно представленных в диссертационной работе.

Замечания

По содержанию диссертации следует отметить следующие замечания:

- одно из замечаний касается терминологии, автор в работе одно физическое явление трактует, как капельная фаза и как капельная фракция (стр. 27). В тоже время, капля - это форма существования жидкой фазы, поэтому правильнее применять термин «капельная фракция»;
- в третьей главе диссертации влияние режимов плазменно-ассистированного осаждения на характеристики покрытий исследовалось на примере TiN, Ti–Al–N, MoN систем; не ясно, почему автор не исследовал здесь Ti–Cu–N покрытие;
- к сожалению, судя по ссылкам и приложениям, разработанный способ синтеза сверхтвердых нанокристаллических покрытий не защищен патентами;
- в автореферате не приведены используемые для получения научных результатов методики исследований.

Однако, указанные замечания не затрагивают сущность защищаемых научных положений и основных результатов, полученных в ходе выполнения диссертации, и не влияют на общую положительную оценку диссертации. В целом работа может быть квалифицирована, как законченное исследование, выполненное на высоком научно-техническом уровне.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По объектам, целям и методам проведенных исследований диссертационная работа Крысиной Ольги Васильевны соответствует паспорту специальности 01.04.04 – «Физическая электроника»

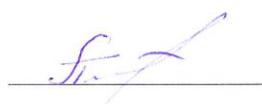
Заключение

Диссертационная работа Крысиной О.В. является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором всесторонних исследований установлены закономерности формирования покрытий включающие процессы генерации металлической и газометаллической плазмы при испарении катодов моно- и полиэлементного состава в дуговых разрядах низкого давления; совмещённые процессы плазменно-ассистированных процессов электродугового осаждения, а также основные характеристики синтезируемых нитридных покрытий, и изложены научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение обороноспособности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, ее основные результаты и выводы.

По актуальности решённой проблемы, научной новизне и практической значимости результатов, содержанию и оформлению диссертационная работа Крысиной Ольги Васильевны «Генерация газометаллической плазмы в дуговых разрядах низкого давления для синтеза многокомпонентных нанокристаллических защитных покрытий» соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, и соответствует п. 9 «Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
Главный научный сотрудник,
ОАО «Национальный институт
авиационных технологий»

 Петров Л.М.

Организация: Открытое акционерное общество
«Национальный институт авиационных технологий»
Почтовый адрес: 117587, Россия, г. Москва, ул. Кировоградская 3
Телефон: +7(495)311-06-72; факс: +7(495) 312-76-66
Электронный адрес: plm@niat.ru

Подпись Л.М. Петрова удостоверяю:

Зам. Генерального директора ОАО НИАТ по науке,
ученый секретарь ОАО НИАТ,
доктор технических наук, профессор

 Егоров В.Н.

«14» сентября 2016 г.

