

539
К 28

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ “БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ“

УДК 539.211:539.612:621.793:537.534:620.179.4

КАСПЕРОВИЧ
АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНЫ
ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

05.02.01 – Материаловедение (химическая промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 2002

Работа выполнена в учреждении образования “Белорусский государственный технологический университет” (УО “БГТУ”).

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Ташлыклов И.С. (учреждение образования “Белорусский государственный технологический университет”, кафедра физики).

Научный консультант доктор технических наук, профессор Щербина Е.И. (учреждение образования “Белорусский государственный технологический университет”, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов).

Официальные оппоненты: академик НАНБ, доктор технических наук, профессор Свириденко А.И. (отдел проблем ресурсосбережения Национальной академии наук Беларуси, директор).

доктор технических наук, профессор Белый А.В. (отдел плазменных и пучковых технологий Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси, заведующий).

Оппонирующая организация акционерное общество открытого типа “Научно-исследовательский институт эластомерных материалов и изделий” (г. Москва, Россия).

Защита состоится 14 марта 2002 г. в 13³⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 в учреждении образования “Белорусский государственный технологический университет”, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, тел. 227-73-50.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования “Белорусский государственный технологический университет”.

Автореферат разослан “__” _____ 2002 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук



О.Я. Толкач

Актуальность темы диссертации. Развитие современного машиностроения выдвигает в ряд важнейших проблему повышения эксплуатационных и физико-механических свойств соединений с вращательным движением вала и возвратно-поступательным движением штока в узлах и агрегатах машин. Ответственная роль среди таких соединений принадлежит резиновым и резиноармированным манжетным уплотнителям, которые зачастую определяют долговечность работы узлов, межремонтные периоды агрегатов или машин в целом.

Для повышения долговечности манжетных уплотнений из резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков постоянно ведется поиск новых рецептурных и технологических приемов, разрабатываются методы как объемной, так и поверхностной химической модификации резиновых манжет – галогенирование, обработка фтором, хлором или бромом, многие из которых получили ограниченное применение в связи с трудностями решения экологических и других вопросов.

В последнее время для модификации резинотехнических изделий также предложено использовать способы напыления покрытий в вакууме. Однако адгезия осажденных в вакууме покрытий к материалу даже твердой основы зачастую является недостаточной, в то время как покрытия на резинотехнических изделиях (РТИ) испытывают при эксплуатации большие тангенциальные и нормальные напряжения. В этой связи особый интерес в применении к резине представляют методы ионно-ассистированного нанесения покрытий. Эти методы позволяют формировать покрытия на металлах, керамике, полимерах, обладающие улучшенными физико-химическими, механическими и электрофизическими свойствами, а также, обеспечить требуемую адгезию на границе раздела покрытие/подложка. Однако в связи с тем, что ионное ассистирование проводится обычно с применением ионов благородных газов (Ar, Kr, Xe), то при реализации этого процесса возможно введение примесей в покрытие в количествах, которые оказывают отрицательное воздействие на адгезию, твердость и структуру формируемого покрытия.

Поэтому актуальным представляется использование процесса ионно-ассистированного нанесения покрытий на поверхность резины и изделий из нее в условиях саморадиации, в котором радиационное ассистирование обеспечивается ускоренными ионами металла покрытия.

К моменту постановки работы отсутствовали систематические данные об особенностях и закономерностях ионно-ассистированного осаждения покрытий на резину, о физико-химических процессах, сопровождающих нанесение покрытий на резину, о свойствах модифицированной резины.

Поэтому необходимо было провести исследования композиционного состава модифицированной поверхности резины, ее структуры, адгезии покрытий к резине, упругие и прочностные свойства, смачиваемость поверхности в рабочих жидкостях, триботехнические свойства и эксплуатационные характеристики РТИ.

316 ар



Полученные при выполнении исследований новые знания о физико-химических процессах на поверхности модифицируемой резины, разработанный процесс поверхностной модификации резины могут быть использованы в Республике Беларусь на предприятиях-изготовителях и предприятиях-потребителях РТИ для получения изделий с новыми потребительскими качествами.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Исследования проводились в рамках Межвузовской программы фундаментальных исследований министерства образования РБ "Низкоразмерные системы - БГУ" задание 01.03 "Физические основы получения, диагностики, функционирования и применения низкоразмерных элементов и систем" (№ гос.рег. 1996545, 1996-2000). Исследования были частично поддержаны Фондом фундаментальных исследований РБ в рамках НИР Ф8-132 "Изучение физико-химических процессов на межфазной границе систем подложка-пленка, облучаемых ускоренными ионами в условиях управляемой плотности выделенной энергии. Разработка "чистой" технологии нанесения тонких слоев материалов, сопровождаемого облучением ускоренными ионами" (№ гос.рег. 1994771, 1992-1994), также Фондом фундаментальных и поисковых исследований РБ по теме ФФ98-037 "Разработка основ ионно-ассистированного осаждения покрытий в условиях саморадиации с целью модификации твердости, износостойкости и адгезии к эластомеру алюминия и его сплавов" (№ гос.рег. 19981257, 1998-2000).

Цель и задачи исследования. Целью работы являлось материаловедческое исследование ионно-лучевого модифицирования поверхности резины на основе полярных каучуков (на примере резины марки 7-ИРП-1068-24-Б) с целью улучшения ее физико-механических свойств и установление закономерностей физико-химических процессов, протекающих на поверхности резины при ионно-ассистированном осаждении покрытий в условиях саморадиации. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи работы:

- отработка режимов физического вакуумного ионно-ассистированного осаждения покрытий на резину в условиях саморадиации;
- изучение структуры поверхности модифицированной резины и проведение послойного элементного и фазового анализа;
- определение адгезионных характеристик покрытий к резине;
- определение физико-механических показателей модифицированной резины;
- разработка способа модифицирования свойств резинотехнических изделий при ионном ассистировании в условиях саморадиации.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования диссертационной работы являются физико-химические процессы и физико-механические свойства поверхности резины марки 7-ИРП-1068-24-Б (резина), модифицированной ионно-ассистированным осаждением покрытий на основе титана, хрома, циркония, молибдена и вольфрама в условиях саморадиации.

Предмет исследования - структура, твердость, адгезия покрытий к резине; фрикционные свойства модифицированной резины; послойный

элементный, фазовый состав; смачиваемость поверхности модифицированной резины

Методология и методы проведенного исследования. Методология настоящей работы заключается в сочетании теоретических представлений и экспериментальных данных для научно-обоснованной технологии нанесения покрытий на резину с целью изменения физико-механических показателей поверхности резины, адгезионной устойчивости покрытий, наносимых на резину. Решение поставленных в работе задач осуществлялось с помощью следующих методов: ионно-ассистированного нанесения покрытий в условиях саморадиации (ИАНПУС); резерфордовского обратного рассеяния быстрых ионов (РОР) и компьютерного моделирования спектров обратного рассеяния (программа RUMP) – для послойного элементного анализа покрытий; рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС) – для качественного и количественного фазового анализа; растровой электронной микроскопии (РЭМ) и оптической микроскопии – для изучения структуры поверхности серийной резины и покрытий осажденных на резину; метода Pin Pull Test (пин пул тест) – для определения адгезионной устойчивости покрытий к резине (термин “адгезионная устойчивость” введен для того, чтобы отразить существование не только силы сцепления между приведенными в соприкосновение покрытием и резиной, но и влияния на нее физического “сшивания” и радиационного фактора); методов измерения твердости (по Виккерсу, по Кнуппу, лазерно-акустический) покрытий; измерения силы трения серийной и модифицированной резины при возвратно-поступательном движении стального стержня по ее поверхности и в паре с вращающимся стальным валом; измерение краевого угла смачивания – для изучения лиофильности и лиофобности модифицированной поверхности резины к смачивающим средам. При проведении сравнительных испытаний физико-механических свойств серийной и модифицированной резины измерялись: условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, твердость по Шор А, изменение массы после воздействия стандартной жидкости; смачиваемость поверхности.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Отработаны режимы, впервые позволившие сформировать на резине покрытия на основе металлов ионно-ассистированным осаждением в условиях саморадиации. Научно обоснована перспективность их использования в производстве РТИ.
2. Впервые с применением ядерно-физических методов установлен элементный и химический состав поверхности серийной и модифицированной резины. Установлено, что при модификации резины методом ионного ассистирования в условиях саморадиации формируется “квазиволновая” микроструктура поверхности покрытий.
3. Выявлено, что адгезия покрытий на основе металлов к резине может изменяться в широком диапазоне значений в зависимости от металла-основы покрытия. Важным фактором для адгезионной устойчивости покрытия к резине является способность формирования химических связей металла-основы

покрытия с элементами, входящими в состав резины, возможная деструкция структуры резины при радиационном воздействии ассистирующих ионов.

4. Установлено, что осаждение покрытий на резину методом ионного ассистирования улучшает физико-механические показатели ее поверхности, но не влияет на упруго-прочностные свойства резины.

Практическая (экономическая, социальная) значимость полученных результатов. Показано, что метод ионного ассистирования в условиях саморадиации обеспечивает формирование покрытий различного функционального назначения (антифрикционных, защитных) на рабочих поверхностях резинотехнических изделий.

Модифицирование поверхности резины покрытиями на основе металлов повышает износостойкость изделий, увеличивает стойкость к воздействию агрессивных сред.

Стендовые испытания РТИ из резины 7-ИРП-1068-24-Б, модифицированных методом ИАНПУС, показали снижение износа по сравнению с серийными, а именно:

- модифицированные манжеты 12-2401060-Б, испытанные на ОАО "ГАЗ" (г. Нижний Новгород), показали снижение износа в 2.5 раза по сравнению с серийными манжетами, выпускаемыми ОАО "Беларусьрезинотехника" (г. Бобруйск);
- модифицированные сальники амортизатора 64221-2905338, испытанные на ПО "БелавтоМАЗ" БААЗ (г. Барановичи), показали увеличение ресурса в 1.6 раза по сравнению с серийными, выпускаемыми ОАО "Беларусьрезинотехника" (г. Бобруйск).

Экономическая значимость состоит в том, что резинотехнические изделия, модифицированные предложенным методом, имеют ресурс работы более высокий (в 1.6 раза), чем серийные, что обеспечивает снижение энергопотребления, материальных затрат при эксплуатации изделия и в целом повышение производительности труда. Об этом свидетельствует экономический эффект от применения амортизаторов с модифицированными РТИ при программе потребности сальников по ПО "БелавтоМАЗ" БААЗ 190 тысяч шт/год составит 11075000 рублей (цены на 16.11.2000 г.).

Разработанный способ ионно-ассистированного нанесения покрытий с целью модифицирования поверхности резины рекомендован для использования на заводах, выпускающих формовые резинотехнические изделия, а также на предприятиях-потребителях этой продукции в качестве комплектующих.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Модель формирования структуры покрытия-резина ионно-ассистированным осаждением покрытия на основе металла ($Me=Ti, Cr, Zr, Mo, W$) в условиях саморадиации при энергии ассистирующих ионов 5-20 кэВ и давлении 10^{-2} Па, в соответствии с которой происходит физическое "сшивание" покрытия с резиной, перераспределение компонентов резины и покрытия в области межфазной границы и формирование "квазиволновой" структуры поверхности покрытия.

2. Эффект изменения адгезионной устойчивости к резине покрытия, осаждаемого при ионном ассистировании в условиях саморадиации. Модель позволяющая объяснить данный эффект, основанная на представлениях о разной химической активности металла-основы покрытия при формировании химических связей с компонентами, входящими в состав резины и покрытия и деструкции резины при радиационном воздействии в условиях высокой плотности выделенной энергии.

3. Эффект изменения лиофильности и лиофильности модифицированной поверхности резины в рабочей среде, обусловленный ее химическим составом, включая металл основы покрытия и компоненты резины. Эффект снижения, в 2-3 раза, силы трения поверхности модифицированной резины с контртелом. Механизм уменьшения трения, основанный на представлениях о существовании в осажденном слое оксидных фаз, синтезированных под действием энергетических ионов, внутренних напряжений, способствующих формированию "квазиволновой" структуры поверхности модифицированной резины, снижающих адгезионное взаимодействие в контакте, а также механические потери.

Личный вклад соискателя. Соискателем были непосредственно выполнены: ионно-ассистированное нанесение покрытий на резину, исследования физико-механических показателей исходной и модифицированной резины, исследования поверхности исходной и модифицированной резины с помощью растровой электронной микроскопии, интерпретация основных результатов исследований. Соискатель провел послойный элементный и фазовый анализ состава покрытий на резине, измерение силы трения в паре "стальной вал-манжета", интерпретировал данные экспериментов по адгезионной устойчивости покрытий, отработал методику и измерил смачиваемость покрытий на резине водой и вазелиновым маслом, обобщил экспериментальные результаты, полученные при решении задач, сформулированных в диссертационном исследовании, участвовал в формулировке теоретических выводов.

Научный руководитель работы – профессор, доктор физико-математических наук Ташлыков И.С. является научным руководителем вместе с научным консультантом доктором технических наук Щербиной Е.И. сформулировали цель и задачи проведенных исследований. Они участвовали в обсуждении результатов работы, в обосновании моделей и механизмов физико-химических процессов при ИАНПУС.

Отдельные эксперименты при исследовании сформированных методом ИАНПУС структур покрытие-резина были выполнены в рамках научного сотрудничества в зарубежных лабораториях.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований доложены на XXIII и XXIV Межнациональном совещании по физике заряженных частиц с кристаллами (Москва, 1993, 1994 г.г.); на II-ой Республиканской студенческой конференции "Физика конденсированных сред" (Гродно, 1994, 2000 г.); на XXV, XXIX, XXX и XXXI Международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами

(Москва, 1995, 1999, 2000 и 2001 г.г.); на 5-ой Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (Гродно, 1997 г.); на 2-ой, 3-ей и 4-ой Международной конференции "Взаимодействие излучений с твердым телом" (Минск, 1997, 1999, 2001 г.г.); на 6-th International Conference on Plasma Surface Engineering (Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1998); на 4-ой Республиканской научной конференции студентов и аспирантов "НИРС и А-98" (Гродно, 1998 г.); на 6-ой Российской научно-практической конференции резинщиков "Сырье и материалы для резиновой промышленности" (Москва, 1999 г.); на 10-th International Conference on Radiation Effects in Insulators-10 (Jena, Germany, 1999), на 3-rd International conference on Plasma physics and plasma technology (Minsk, Belarus, 2000); на II International symposium on New electrical and electronic technologies and their industrial implementation (Kazimierz Dolny, Poland, 2001); на 12-th International conference on Surface modification of materials by ion beam (Marburg, Germany, 2001).

Опубликованность результатов. По результатам исследований опубликовано 27 работ, среди которых 5 статей в зарубежных журналах, 4 статьи в материалах международных конференций, 2 статьи в сборнике БГУ, 1 статья в трудах БГТУ, 15 тезисов докладов. Общий объем публикаций 70 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти оригинальных глав, заключения, списка использованных источников из 151 наименования. Полный объем диссертации 119 страниц, в том числе 22 таблицы, 31 рисунок, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы дана оценка современного состояния решаемой проблемы, обоснована актуальность исследований, сформулирована цель работы, охарактеризована научная новизна, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературы, в котором рассмотрены основные методы модификации поверхности резино-технических изделий. Изложены данные экспериментальных и теоретических исследований по химической модификации поверхности эластомеров. Показаны основные направления развития и совершенствования формирования на изделиях покрытий в вакууме. Рассмотрены принципы ионно-ассистированного осаждения покрытий в вакууме на изделия, их структура и свойства.

Во второй главе изложено описание метода формирования покрытий и методики исследования, используемых в работе.

Покрытия на основе металлов (Ti, Cr, Zr, Mo, W) осаждались на подложку методом ионно-ассистированного нанесения в условиях саморадиации (ИАНПУС). В качестве материалов подложек использовали технические пластины из резины марки 7-ИРП-1068-24-Б и резинометаллические манжеты

1.2-50×70-1, 12-2401060-Б, 64221- 2905338, изготовленные на основе этой резины.

Для определения послойного элементного состава структур покрытие/резина использовались метод резерфордского обратного рассеяния быстрых ионов (РОР) в сочетании с методом компьютерного моделирования состава изучаемых структур (RUMP).

Фазовый состав структур покрытие/резина анализировался методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС).

Морфология поверхности покрытий исследовалась методами растровой электронной микроскопии на приборах РЭМ-100У и JEOL-840 и оптической микроскопии на стереоспектрометре Leika MZ-12, имеющем видеомодуль Leika JSA.

Физико-механические показатели (условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, Относительное изменение массы резины при набухании в углеводородной жидкости, коэффициент трения) серийной резины и резины, модифицированной осаждением покрытий на основе металлов, определяли по стандартным методикам.

Смачиваемость покрытий оценивали по величине краевого угла смачивания, измеряемого по общепринятой методике.

Триботехнические характеристики серийной и модифицированной резины определяли на серийном трибометре "Днепр-2" по схеме "стальной вал-манжета", методика № М 38 405547-83, и на трибометре ТАУ-3М по схеме "стальной стержень-резина".

Адгезионная устойчивость к резине покрытий, нанесенных методом ИАНПУС, измерялась с использованием Pin Pull Test метода.

Износостойкость модифицированных манжет изучали в сравнительных испытаниях на специальных стендах ОАО "ГАЗ", г. Нижний Новгород и на ПО "БелавтоМАЗ" БААЗ, г. Барановичи.

Экспериментальные данные представлены в виде таблиц и графиков.

Третья глава диссертационной работы посвящена исследованию структуры поверхности и состава покрытий на основе металлов, осажденных на резину при ионном ассистировании в условиях саморадиации.

Эксперименты по ионно-ассистированному нанесению покрытий на основе металлов в условиях саморадиации проводились с использованием вакуумного резонансного дугового источника. Этот тип ионного источника с электродами, изготовленными из материала наносимого покрытия, позволяет получить регулируемые потоки ионов металла с плотностью I и нейтральных атомов с плотностью A . Энергия ассистирующих ионов в экспериментах изменялась в пределах от 5 до 20 кэВ, вакуум при осаждении покрытий составлял $\approx 10^{-2}$ Па. Отношение I/A составляло в разных экспериментах от 0.1 до 0.3 при значении скорости нанесения покрытия 0.01-0.04 нм/сек. В таких условиях покрытие наносится на мишень в режиме атомного перемешивания, в результате чего может обеспечиваться высокая адгезия покрытия на изделии при взаимопроникновении компонентов мишени и покрытия в области межфазной границы.

Установлено, что при ионно-ассистированном осаждении покрытий в условиях саморадиации формируется "квазиволновая" структура покрытия с длиной "волны" λ в интервале 4 ± 10 мкм, рис. 1.

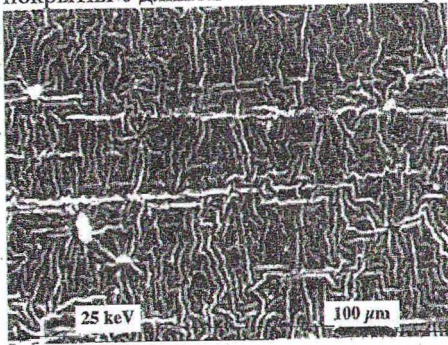


Рис. 1. РЭМ-изображение структуры покрытия на основе хрома, осажденного на резину методом ИАНПУС ($E_{Cr^+} = 10$ кэВ)

Благодаря формированию "квазиволновой" структуры поверхности модифицированного изделия, фактическая площадь контакта рабочей поверхности модифицированного изделия с вращающимся валом или модифицированной резины со скользящим стальным стержнем может быть существенно меньше, чем площадь контактирующих сторон вала с рабочей поверхностью серийной манжеты или стального стержня с поверхностью серийной резины. Этот эффект оказывает существенную роль в уменьшении коэффициента трения модифицированной резины с контртелом.

С применением метода резерфордского обратного рассеяния ионов He с $E = 1.8$ МэВ, рис. 2, и компьютерным моделированием спектров ROP установлено, что композиционный состав исходной резины марки 7-ИРП-1068-24-Б соответствует формуле: $H_{39.7}C_{54.9}N_{5.0}O_{0.1}S_{0.1}Zn_{0.2}$. Пики в области сигналов от элементов Zn, S, O на рис. 2 (а) свидетельствуют о повышенной концентрации этих компонентов в тонком (30-50 нм) приповерхностном слое исходной резины в 4-4.5, 1.2-1.6 и 1.1-1.2 раза, соответственно.

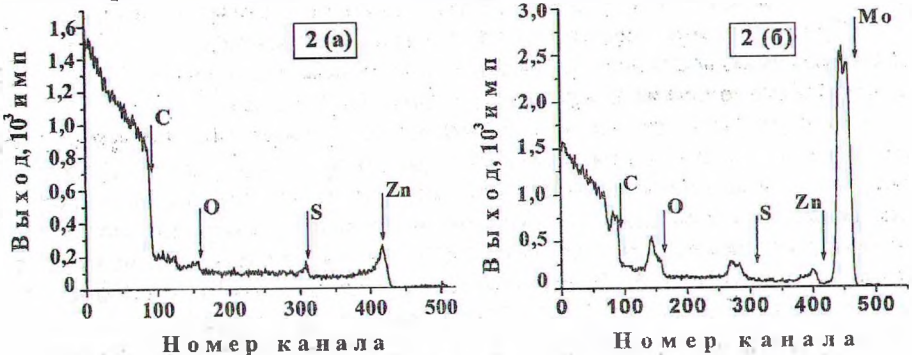


Рис. 2. Энергетические спектры ROP ионов He⁺ с $E_0 = 1.8$ МэВ от образцов: а – исходной резины; б – резины, модифицированной осаждением покрытия на основе Mo с $E_{Mo^+} = 20$ кэВ

Установлено, что в состав осажденного покрытия, кроме металла-основы (молибдена), входит ряд химических элементов Zn, S, O, C, H, являющихся компонентами резины рис. 2 (б). При этом концентрация Mo, в осажденных на резину покрытиях, варьируется по толщине в интервале значений 1.9-5.2 ат.% и снижается до 0.4 ат.% в резине в области границы раздела фаз покрытие-резина. Малые концентрации молибдена до 0.01 ат.% регистрируются в объеме резины на глубине ~260 нм, рис. 3.

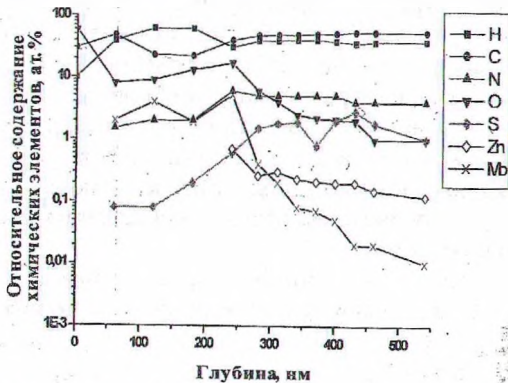


Рис. 3. Относительное содержание химических элементов в покрытии на основе Mo толщиной ~280 нм, осажденного на резину методом ИАНПУС. $E_{Mo^+} = 20$ кэВ

Отметим, что при изучении всех осажденных покрытий наблюдается качественное согласие в изменении по толщине покрытия концентрации элементов O и C с изменением концентрации металла-основы. Изменения же содержания H в покрытии носят более сложный характер. Однако проявляется общая тенденция, которая заключается в том, что концентрация водорода увеличена в тех слоях, где меньше O и C. Сравнительный анализ покрытий, осаждаемых на разные подложки, позволяет

предположить, что атомы O, C, H входят в состав покрытия из атмосферы остаточного вакуума, получаемого диффузионным паромасляным насосом, в процессе осаждения покрытия. Кроме указанных элементов, в составе покрытия на основе всех изученных металлов (кроме титана в силу его высокой химической активности образования гидридов, карбидов и оксидов) идентифицируются Zn и S (рис. 3). Поскольку эти химические элементы входят в основу резины, то можно полагать, что их появление в покрытии обусловлено восходящей диффузией из материала основы. Таким образом, экспериментально определено, что радиационное воздействие ускоренных ионов металла, assisting осаждение покрытий на резину, способствует взаимопроникновению компонентов в области межфазной границы подложка-пленка, обеспечивая физическое "сшивание" покрытия с резиной. Этот эффект представляется важным как эффект "очистки" приповерхностного слоя резины от реакционно-способных элементов, что способствует временной стабильности ее свойств. Титан в силу повышенной реакционной способности осаждается на поверхность резины химически связанным с водородом, углеродом и кислородом (из остаточного газа мишенной камеры) и поэтому отсутствует взаимодействие титана с серой.

Анализ элементного и фазового состава покрытий на основе Zr и W методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии обнаруживает, в частности, преимущественное формирование оксидов осаждаемых металлов.

Четвертая глава посвящена исследованию адгезионной устойчивости покрытий к резине и физико-механических показателей, характеризующих свойства модифицированной резины. С помощью метода Pin Pull Test были проведены эксперименты по изучению адгезионной устойчивости покрытий, осажденных на резину. На микрофотографиях представлены изображения поверхностей резины и пуансона после их разделения, рис. 4. Установлено, что при отрыве пуансона от резины с покрытием на основе молибдена, хрома, циркония и вольфрама происходит когезионное разрушение по “телу” резины, что, на наш взгляд, экспериментально на макроскопическом уровне подтверждает происходящее при ионном ассистировании в условиях саморадиации физическое “сшивание” данных покрытий к основе на микроскопическом уровне. В структуре покрытие на основе титана/резина при отрыве пуансона “тело” резины не разрушается.

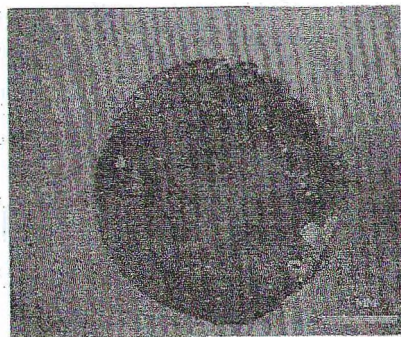
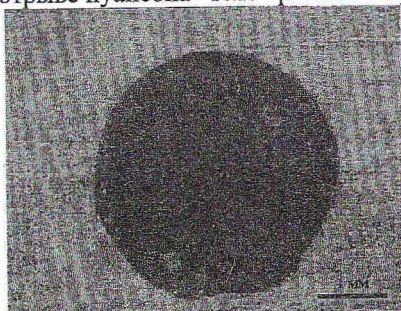


Рис. 4. Изображение поверхности отрыва на резине, модифицированной осаждением Mo (сверху), и на пуансоне (внизу)

Для того, чтобы проанализировать характер поведения кривых нагружения на рис. 5 была измерена скорость изменения напряжения в системе пуансон-резина $\Delta\sigma/\Delta t$ в начальный период нагружения. Полученные данные, а также измеренные значения напряжения отрыва пуансонов от разных образцов представлены в таблице 1. Из представленных данных, табл. 1, следует, что измеренная скорость изменения напряжения при нормальном растяжении поверхности исходной резины, меньше, чем для образцов с осажденными покрытиями. Для объяснения обнаруженной особенности поведения кривых нагружения мы предполагаем, что увеличение напряжения сопротивления нагружению пуансона, т.е. $\Delta\sigma/\Delta t$ на начальном этапе процесса обусловлено повышением эффективного модуля упругости приповерхностного слоя резины с покрытием ($E_{\text{рез-ме}}$). Данные об относительном эффективном модуле упругости модифицированной поверхности резины представлены в таблице 1.

Из полученных данных следует, что действительно эффективный модуль упругости резины возрастает в интервале от 1.4 до 3 раз при ее модифицировании осаждением покрытий на основе W, Mo, Cr, Zr. Оценка величины проективного пробега иона и страгглинга с использованием компьютерной программы TRIM, табл. 2, позволяет полагать, что механизм физического "сшивания" реализуется в приповерхностном слое резины с примерно одинаковой толщиной независимо от металла-основы покрытия.

Таблица 1

Скорость изменения напряжения в процессе нагружения, напряжение отрыва гуансона и относительное изменение модуля упругости приповерхностного слоя резины с покрытием

Вид покрытия	Исходная резина	Ti	Cr	Zr	Mo	W
$\frac{\Delta\sigma}{\Delta t} \cdot \left(\frac{H}{\text{мм}^2 \times c} \right)$	0.15±0.02	-	0.45±0.05	0.45±0.05	0.20±0.02	0.21±0.02
$\sigma_{\text{отрыва}}$, МПа	2.4	0.2	4.1	3.0	4.1	1.2
$\frac{E_{\text{Рез-Me}}}{E_{\text{Рез}}}$	-	-	2.9±0.4	3.0±0.5	1.4±0.2	1.4±0.2

Однако разные значения силы отрыва гуансона, табл. 1, разрушение образцов с покрытиями на основе хрома, циркония, молибдена в большей степени по массиву резины и данные приведенные на рис. 5 свидетельствуют о том, что физическое "сшивание" на межфазной границе не является единственным фактором, влияющим на адгезионную устойчивость покрытий к резине. По-видимому, одним из существенных факторов является образование химических связей покрытия с подложкой. Так как физические связи

Таблица 2 (например, по Ван-дер-Ваальсу),

Проективный пробег и страгглинг такой адгезии не обеспечат. Для пробега ионов металла с $E=20$ кэВ в формировании химических связей с резине атомами компонентов резины, а

Ионы	Ti	Cr	Zr	Mo	W
R_p , Å	272	266	234	234	216
ΔR_p , Å	61	59	43	43	28

следовательно, для управления адгезионной устойчивостью покрытий к резине существенным

фактором является химическая природа металла-основы покрытия. Она может проявляться в разном характере взаимодействия металла-основы покрытия с компонентами резины.

Известно, что титан наиболее активно (из применяемых нами металлов) взаимодействует с кислородом и углеродом с образованием оксидной фазы. При этом, он в отличие от остальных металлов, слабее взаимодействует с серой, компонентом резины. Возможно последним свойством титана можно качественно объяснить наблюдаемую в эксперименте слабую адгезию покрытия на основе титана к резине. В результате активного взаимодействия

атомов Ti с атомами С, О и Н еще в газовой фазе на резину осаждается покрытие содержащее карбиды, оксиды и гидриды титана. Химические связи атомов титана оказываются заполненными и поэтому они не взаимодействуют с серой. В отличие от Ti, покрытия на основе Mo и Zr частично содержат неоксидированную фракцию металла, что установлено при изучении покрытий методами РФС. И поэтому они могут образовывать химическое соединение,

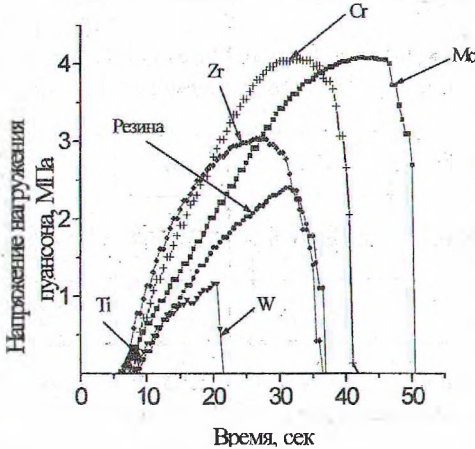


Рис. 5. Зависимость изменения напряжения нагружения пуансона от времени нагружения

например, с серой, благоприятствуя адгезионной устойчивости покрытий с резиной. Понижение же по сравнению с исходной резиной скорости изменения напряжения нагружения образца резины с вольфрамовым покрытием может быть связано, по-видимому, с частичным разрушением сетчатой структуры в тонком слое резины в области межфазной границы из-за высокой плотности энергии, выделяемой в каскадах атомных столкновений при торможении ионов W^+ в резине, в которую они проникают на начальном этапе ионно-ассистированного осаждения покрытия.

Модифицирование поверхности резины и РТИ осаждением покрытий на основе разных металлов методом ИАНПУС способствует изменению лиофобности и лиофильности при смачивании жидкостями. Эксперименты по измерению угла смачивания при размещении на модифицированной поверхности капли вазелинового масла и воды показали, что покрытия на основе Mo обладают повышенной смачиваемостью на 20% (масло) и 10% (вода) по сравнению с исходной резиной. Покрытия на основе Ti, Cr, Zr, W характеризуются увеличенной лиофобностью.

При нанесении покрытий на основе металлов на поверхность техпластин и рабочую поверхность резиноармированных манжет, изготовленных из резины 7-ИРП-1068-24-Б, изменяются фрикционные характеристики модифицированной резины: в 2-3 раза снижаются сила трения и износ в парах с металлом и фрикционное взаимодействие с металлическим контртелом. Это, связано с существованием в осажденном слое оксидных фаз, синтезированных под действием энергетических ионов, внутренних напряжений, способствующих формированию квазиволновой поверхности модифицированной резины. Известно, что оксиды и другие неорганические соединения — это материалы для получения твердых смазочных материалов. Поэтому покрытия, нанесенные методом ИАНПУС, которые, кроме металла-основы покрытия до ~10-75 ат.% водорода, ~20-30 ат.% углерода и ~30-50 ат.% кислорода, а также оксиды металла-основы покрытия можно считать

аналогом твердой смазки, что может способствовать снижению трения между резиной с покрытием и стальной поверхностью.

Пятая глава диссертации содержит результаты опытно-промышленных испытаний модифицированных резино-технических изделий.

С целью изучения эффективности влияния процесса ИАНПУС на ресурс амортизатора была изготовлена опытная партия сальников 64221-29053 рабочая поверхность которых модифицировалась ионно-ассистированным осаждением покрытий на основе молибдена. Дополнительно, с целью оптимизации условий испытания сальника в паре со штоком рабочая поверхность последнего также модифицировалась осаждением покрытия на основе молибдена.

Стендовые ресурсные сравнительные испытания стандартных амортизаторов и амортизаторов с модифицированным сальником и штоком проведены на ПО "БелавтоМАЗ" Барановичский автоагрегатный завод. И показали испытания (акт прилагается), амортизаторы отработали в 1.6 раз выше серийного объема испытаний без поломки деталей и течи жидкости. Износостойкости штоков, модифицированный осаждением защитного покрытия методом ИАНПУС в паре с модифицированным сальником, обладает повышенными характеристиками по сравнению с хромым покрытием. Именно, установлено, что на нем: отсутствуют риски износа в рабочей зоне штока; практически отсутствует износ; сохраняется класс чистоты рабочей поверхности.

Долговечность опытных сальников превышает уровень серийных сальников, поставляемых ОАО "Беларусьрезинотехника", г. Бобруйск, и проявляется в отсутствии рисков на кромках сальников отработке фиксируемого износа в 1.58 раза дольше серийных испытаний.

По заданию конструкторского отдела легковых автомобилей №1146 24.07.1997 г. проводились испытания с целью сравнения работоспособности долговечности манжет 12-2401060-Б 3-х типов в стендовых условиях: частота вращения вала (штулки) — 1500 мин⁻¹, рабочая среда — масло "Уфал Унитранс" ТУ 1253-001-11493112-93, температура масла +105±5 продолжительность испытаний 500 часов.

Были испытаны следующие манжеты: I—опытные фирмы Freudenberg (Германия); II—серийные производства ОАО "Беларусьрезинотехника"; III—модифицированные ионно-ассистированным в условиях саморадиального осаждения покрытия на основе молибдена манжеты типа II.

Как показали испытания, износ штулок от рабочих кромок манжет типа III в 1.75 и 2.5 раза меньше, чем у манжет типа I и II, соответственно, и свидетельствует о более высоком ресурсе модифицированных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработан способ модифицированной структуры и свойств поверхности резины на основе полярных каучуков

осаждением покрытий на основе титана, хрома, циркония, молибдена, вольфрама при ионном ассистировании в условиях саморадиации.

Основные результаты проведенных исследований состоят в следующем:

1. Впервые выполнен микроанализ композиционного состава резины с применением ядерно-физического метода резерфордского обратного рассеяния и компьютерной моделирующей программы RAMPI (RUMP). Установлено, что композиционный состав резины 7-ИРП-1068-24 соответствует формуле $H_{39.7}C_{54.9}N_{5.0}O_{0.1}S_{0.1}Zn_{0.2}$. На поверхности резины в слое 30-50 нм содержание кислорода, серы и цинка в ~1.2, 1.4 и 4.5 раз выше, чем в объеме резины, что подтверждает известный эффект "выцветания" [1, 13, 21].
2. Экспериментально обнаружено, что радиационное воздействие ускоренных ионов металла, ассистирующих осаждение покрытий на резину, способствует диффузии атомов металла (исключая титан) в резину и встречной диффузии серы, цинка по всей толщине покрытия (кроме покрытий на основе титана). Взаимопроникновение компонентов покрытия и подложки в области межфазной границы обеспечивает физическое "сшивание" нанесенного покрытия с основой резины. Перераспределение компонентов резины в структуре покрытие-резина важно в аспекте "очищения" приповерхностной области резины от серы, что способствует временной стабильности ее свойств. При изучении фазового состава структур покрытие-резина с применением рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показано, что значительная доля атомов металла-основы покрытия находятся в химической связи с атомами кислорода, образуя оксиды ZrO_2 и WO_3 [5, 6, 20, 23].
3. Установлено формирование "квазиволновой" микроструктуры покрытия на основе металла (хром, вольфрам), осаждаемого на резину при ионном ассистировании в условиях саморадиации, что объясняется упругой природой резины, которая способствует релаксации напряжений, возникающих в покрытии при его осаждении на подложку [2, 7, 18].
4. Установленные закономерности при изучении адгезионной устойчивости покрытий к резине подтверждают факт физического "сшивания" покрытий на основе хрома, циркония, молибдена, вольфрама с резиной, обнаруженный при изучении послойного распределения элементов в структурах покрытие-подложка. Напряжения при отрыве пуансона от резины с покрытиями на основе хрома, циркония и молибдена составляет 4.1, 3.0 и 4.1 МПа соответственно. Разрушение резины наступает при напряжении 2.4 МПа. Эти результаты в сочетании с данными измерения скорости изменения напряжения нагружения пуансона свидетельствуют об усилении поверхности резины – росте относительного эффективного модуля упругости приповерхностной области резины с покрытиями на основе молибдена, хрома, циркония в 1.4, 2.9, 3.0 раза соответственно. Вместе с тем, кроме физического "сшивания" важным фактором, влияющим на адгезионную устойчивость покрытия к резине, является химическая природа металла основы, которая определяет вероятность формирования химических связей с атомами компонентов резины и деструкция структуры резины при

радиационном воздействии в условиях высокой плотности выделенной энергии. В сравнительных испытаниях физико-механических свойств исходной и модифицированной резины показано, что ионно-ассистированное осаждение покрытий на основе металлов не оказывает влияния на объемные упруго-прочностные свойства резины [9, 10, 20].

5. Экспериментально обнаружено, что покрытия на основе молибдена обладают повышенной смачиваемостью (на 20 % вазелиновым маслом и 10% водой по сравнению с исходной резиной. Покрытия на основе Ti, Cr, Zr, W характеризуются увеличенной лиофобностью. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности управления лиофильностью рабочей поверхности резинотехнических изделий в разных средах [26, 27].
6. Установлено снижение в 2-3 раза силы трения поверхности резины, модифицированной осаждением покрытий на основе титана, молибдена и вольфрама с контртелом при сухом трении. По композиционному составу покрытия, осажденные при ионном ассистировании в условиях саморадиации являются аналогом твердой смазки, поскольку экспериментально определено, что они содержат соединения на основе металлов (оксиды). Снижение силы трения в контакте поверхности модифицированной резины с контртелом обеспечивается также уменьшением действительной площади контакта вследствие "квазиволновой" структуры покрытия [3, 4, 12, 17].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи:

1. Касперович А.В., Куликаускас В.С., Ташлыкков И.С., Шадрухин М.Г. Послойный анализ состава металлопокрытий на эластомере методом резерфордского обратного рассеяния ионов гелия // Поверхность: физика, химия, механика. – 1995. – №9. – С. 57-58.
2. Ташлыкков И.С., Бобрович О.Г., Касперович А.В., Тульев В.В. Композиционный состав и структурные свойства низкоразмерных межфазной границы и покрытий на основе металлов, осажденных на кремний и эластомер при ионном ассистировании в условиях саморадиации // В сб.: Низкоразмерные системы / Под ред. В.Ф.Стельмаха и А.К.Федотова. – Минск: БГУ, 1998. – С. 8-10.
3. Ташлыкков И.С., Касперович А.В., Касперович В.И., Шадрухин М.Г. Поверхностная модификация резины осаждением покрытий // Каучук и резина. – 1999. – №1. – С. 25-27.
4. Tashlykov I.S., Kasperovich V.I., Shadruxhin M.G., Kasperovich A.V., Wolf G.K., Wesch W. Elastomer treatment by arc metal deposition assisted with self-ion irradiation // Surf. Coat. Technol. – 1999. – 116-119. – P. 848-852.
5. Касперович А.В., Ташлыкков И.С. Ионно-ассистированное осаждение покрытий на основе Zr и W на эластомер // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы 3-ей Междунар. конф., Минск, 6-8 окт. 1999г. / БГУ. – Минск, 1999. – Т. 2. – С. 49-51.

6. Касперович А.В., Ташлыков И.С. Композиционный состав Ti и Mo покрытий, осаждаемых на эластомер в условиях облучения собственными ионами // Физика и химия обработки материалов. – 1999. – №5. – С. 53-55.
7. Ташлыков И.С., Бобрович О.Г., Тульев В.В., Касперович А.В. Формирование низко-размерной среды на твердой (Si, Al) и упругой (резина) матрице при радиационном воздействии нульмерных элементов // В сб.: Низкоразмерные системы / Под ред. В.Ф.Стельмаха и А.К.Федотова. – Минск: БГУ, 1999. – С. 86-89.
8. Kasperovich A.V., Tashlykov I.S., D.Shneider. Irradiation assisted ion-plasma treatment elastomer surface // Plasma physics and plasma technology: Contributed papers 3-rd Intern. conf., Minsk, Belarus, September 18-22, 2000 / Institute of molecular and atomic physics National academy of sciences of Belarus. – Minsk, 2000. – V. 2. – P. 448-452.
9. Ташлыков И.С., Касперович А.В. Механизмы изменения адгезионной устойчивости к резине покрытий, осажденных в условиях радиационного ассистирования // Труды БГТУ. Серия VIII. Химия и технология органических веществ. – Мн., 2000. Вып. VIII. – С. 85-88.
10. Ташлыков И.С., Касперович А.В., Ситнов А.А. Влияние состава межфазной области на адгезионную устойчивость покрытий, осажденных на резину в условиях радиационного ассистирования // Физика и химия обработки материалов. – 2000. – №5. – С. 50-53.
11. Tashlykov I., Kasperovich A., Carter G., Kalbitzer S., Fabian S. Self ion-assisted deposition of coatings on solid and non-rigid substrates // New electrical and electronic technologies and their industrial implementation: Symposium proceedings of the II International symposium, Kazimierz Dolny, Poland, 14-17 February, 2001 / Lublin technical university. - Kazimierz Dolny, 2001. – P. 72-77.
12. Ташлыков И.С., Касперович А.В., Ситнов А.А. Механизмы изнашивания резины, модифицированной ионно-ассистированным осаждением покрытий // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы 4-ой Междунар. конф., Минск, 3-5 окт. 2001 г. / БГУ. – Минск, 2001. –С. 306-308.

Тезисы докладов:

13. Ташлыков И.С., Касперович А.В., Куликаускас В.С., Пальчех В.Ч., Ташлыкова И.И., Шадрухин М.Г. Анализ состава ионно-облученного эластомера с применением метода резерфордского обратного рассеяния // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: Тез. докл. XXIII Межнац. совещ., Москва, 31 мая–2 июня 1993г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – С.92.
14. Касперович А.В., Ташлыкова И.И. Изучение элементного состава эластомера, модифицированного ионным облучением // Физика конденсированных сред: Тез. докл. II-ой Респ. студ. конф., Гродно, 20-23 апр. 1994 г. / ГрГУ. – Гродно, 1994г. – С. 37.
15. Куликаускас В.С., Касперович А.В., Пальчех В.Ч., Ташлыкова И.И., Шадрухин М.Г. Послойный анализ металлопокрытий на эластомере методом РОР ионов гелия // Физика взаимодействия заряженных частиц с

- кристаллами: Тез. докл. XXIV Межнац. совещ., Москва, 30 мая–1 июня 1994 г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 110.
16. Куликаускас В.С., Касперович А.В., Ташлыкова И.И., Алов Н.В., Шадрухин М.Г., Шоть С.П. Модифицирование фрикционных свойств и элементный анализ эластомера ядерно-физическими методами // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: Тез. докл. XXV Междунар. конф., Москва, 29-31 мая 1995 г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 78.
 17. Касперович А.В. Изучение фрикционных свойств резины, модифицированной ионно-ассистированным нанесением металлопокрытий // Физика конденсированных сред: Тез. докл. 5-ой Респ. науч. конф. студ. и асп., Гродно, 21-25 апр. 1997 г. / ГрГУ. – Гродно, 1997г. – С. 69.
 18. Касперович А.В., Ташлыков И.С., Шадрухин М.Г. Структура и свойства покрытий на основе металла, осажденных на эластомер при ионном ассистировании в условиях саморадиации // Взаимодействие излучений с твердым телом: Тез. докл. 2-ой Междунар. конф., Минск, 23-25 сент. 1997г. / БГУ. – Минск, 1997. – С. 175.
 19. Tashlykov I.S., Kasperovich V.I., Shadruxhin M.G., Kasperovich A.V., Wolf G.K., Wesch W. Elastomer treatment by arc metal deposition assisted with self-ion irradiation // Plasma Surface Engineering: Abstracts of 6-th Intern. Confer., Garmisch-Partenkirchen, 14-18 September, 1998. / Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. – Garmisch-Partenkirchen, 1998. – P. 143.
 20. Касперович А.В., Касперович В.И., Мороз В.А., Ташлыков И.С. Адгезионные свойства покрытий, осажденных на резину при ионном ассистировании в условиях саморадиации // Сырье и материалы для резиновой промышленности. От материалов к изделиям: Тез. докл. 6-ой Росс. науч.-практ. конф. резинщиков, Москва, 17-21 мая 1999 г. / НИИШП. – М., 1999. – С. 271-273.
 21. Касперович А.В., Ташлыков И.С. Композиционный состав покрытий на эластомере, полученный при моделировании спектров POP с применением программы RUMP // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: Тез. докл. XXIX Междунар. конф., Москва, 31 мая–2 июня 1999 г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – С. 112.
 22. Tashlykov I.S., Kasperovich V.I., Kasperovich A.V., Tashlykova-Bushkevich I.I., Wesch W., Wolf G.K., Shneider D. Self-ion assisted modification of elastomer and its micro- and macroscopic properties // Radiation Effects in Insulators-10: Abstracts of 10-th Intern. Confer., Jena, 18-23 July, 1999. / Friedrich-Schiller-Universität. – Jena, 1999. – P. 238.
 23. Касперович А.В. Химический анализ состава приповерхностных слоев резины, модифицированной ионно-ассистированным осаждением Zr в условиях саморадиации // Физика конденсированных сред: Тез. докл. 8-ой Респ. науч. конф. студ. и асп., Гродно, 3-5 мая 2000 г. / ГрГУ. – Гродно, 2000. – С. 157-158.
 24. Касперович А.В., Ташлыков И.С. Влияние состава межфазной области на адгезионную устойчивость покрытий, осажденных на резину в условиях

- радиационного ассистирования // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: Тез. докл. XXX Междунар. конф., Москва, 2000 г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 136.
25. Касперович А.В., Ташлыков И.С. Изменение лиофобности поверхности резины ионно-ассистированным осаждением покрытий // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: Тез. докл. XXXI Междунар. конф., Москва, 2001 г. / НИИ ядерной физики. – М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 153.
26. Tashlykov I.S., Kasperovich A.V., Wolf G.K. Elastomer surface modification by means of SIAD of metal-based layers // Surface modification of materials by ion beams: Abstracts of 12-th Intern. conf. SMMIB-2001, Marburg, 9-14 September, 2001 / Marburg university. – Marburg, 2001. – P. O_32.

КАСПЕРОВІЧ Андрэй Віктаравіч

МАДЫФІКАВАННЕ ПАВЕРХНІ ГУМЫ ІОННА-АСІСТАВАНЫМ
АСАДЖЭННЕМ ПAKPЫЦЦЯЎГУМА, АСАДЖЭННЕ ПAKPЫЦЦЯЎ, ІОННАЕ АСІСТАВАННЕ,
САСТАЎ ПAKPЫЦЦЯЎ, УЗАЕМАПРАНКНЕННЕ, АДГЕЗІЯ,
ЗМАЧВАЛЬНАСЦЬ, ЦВЁРДАСЦЬ, ТРЭННЕ

Аб'екты даследавання – фізіка-хімічныя працэсы і фізіка-механічныя ўласцівасці паверхні гумы маркі 7-ИРП-1068-24-Б, мадыфікаванай іонна-асіставаным асаджэннем пакрыццяў на аснове Ti, Cr, Zr, Mo, W ва ўмовах самарадыяцыі. Прадмет даследаванняў – паслойныя элементы, фазавы састаў паверхні мадыфікаванай гумы; структура, цвёрдасць, адгезійная ўстойлівасць пакрыццяў на гумі; фрыкцыйныя ўласцівасці мадыфікаванай гумы; змачвальнасць паверхні мадыфікаванай гумы.

Мэтай работы з'яўляецца іонна-праменнае мадыфікаванне паверхні гумы маркі 7-ИРП-1068-24-Б для паляпшэння яе фізіка-механічных уласцівасцей і вызначэнне заканамернасцей фізіка-хімічных працэсаў, якія працякаюць на паверхні гумы пры іонна-асіставаным асаджэнні пакрыццяў ва ўмовах самарадыяцыі.

Упершыню вызначана, што кампазіцыйны састаў гумы 7-ИРП-1068-24-Б адпавядае формуле $H_{39,7}C_{54,9}N_{5,0}O_{0,1}S_{0,1}Zn_{0,2}$.

Эксперыментальна выяўлена, што радыяцыйнае ўздзеянне паскораных іонаў металу, якія асітуюць асаджэнне пакрыццяў на гумі, садзейнічае дыфузіі атамаў металу (выключэнне тытан) у гумі і сустрэчнай дыфузіі серы, цынку па ўсёй таўшчыні пакрыццяў (акрамя пакрыццяў на аснове тытану).

Даследавана адгезійная ўстойлівасць пакрыццяў на аснове металаў асаджэннем на гумі пры іонным асіставанні ва ўмовах самарадыяцыі і разгледжаны магчымыя яе змяненні.

Паказана магчымасць кіравання ліяфільнасцю і ліяфобнасцю рабочай паверхні гуматэхнічных вырабаў у розных асяроддзях.

Вызначана зніжэнне ў 2-3 разы сілы трэння паверхні гумы мадыфікаванай асаджэннем пакрыццяў на аснове металу з контрцелам пры сухім трэнні і разгледжаны механізмы зніжэння трэння.

Выпрабаванні мадыфікаваных гуматэхнічных вырабаў на ААТ "ТАЗ" (г. Ніжні Ноўгарад) і ПА "БелаўтаМАЗ" Баранавіцкі аўтаагрэгатны завод (г. Баранавічы) пацвердзілі перспектывынасць іх прымянення ў машынабудаванні.

КАСПЕРОВИЧ Андрея Викторовича

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНЫ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

РЕЗИНА, ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ, ИОННОЕ
АССИСТИРОВАНИЕ, СОСТАВ ПОКРЫТИЙ,
ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЕ, АДГЕЗИЯ, СМАЧИВАЕМОСТЬ,
ТВЕРДОСТЬ, ТРЕНИЕ

Объектом исследования – физико-химические процессы и физико-механические свойства поверхности резины марки 7-ИРП-1068-24-Б, модифицированной ионно-ассистированным осаждением покрытий на основе Ti, Cr, Zr, Mo, W в условиях саморадиации. Предмет исследования – послыйный элементный, фазовый состав поверхности модифицированной резины; структура, твердость, адгезионная устойчивость покрытий на резине; фрикционные свойства модифицированной резины; смачиваемость поверхности модифицированной резины.

Целью работы являлось ионно-лучевое модифицирование поверхности резины марки 7-ИРП-1068-24-Б для улучшения ее физико-механических свойств и установление закономерностей физико-химических процессов, протекающих на поверхности резины при ионно-ассистированном осаждении покрытий в условиях саморадиации.

Впервые установлено, что композиционный состав резины 7-ИРП-1068-24-Б соответствует формуле $H_{39,7}C_{54,9}N_{5,0}O_{0,1}S_{0,1}Zn_{0,2}$.

Экспериментально обнаружено, что радиационное воздействие ускоренных ионов металла, ассистирующих осаждение покрытий на резину, способствует диффузии атомов металла (исключая титан) в резину и встречной диффузии серы, цинка по всей толщине покрытия (кроме покрытий на основе титана).

Исследована адгезионная устойчивость покрытий на основе металлов, осажженных на резину при ионном ассистировании в условиях саморадиации и рассмотрены возможные механизмы ее изменения.

Показана возможность управления лиофильностью и лиофобностью рабочей поверхности резинотехнических изделий в разных средах.

Установлено снижение в 2-3 раза силы трения поверхности резины, модифицированной осаждением покрытий на основе металла с контртелом при сухом трении и рассмотрены механизмы уменьшения трения.

Испытания модифицированных резинотехнических изделий на ОАО "ГАЗ" (г. Нижний Новгород) и ПО "БелавтоМАЗ" Барановичский автоагрегатный завод (г. Барановичи) подтвердили перспективность их применения в машиностроении.

ABSTRACT

By KASPEROVICH, Andrei Viktorovich

ELASTOMER SURFACE MODIFICATION BY MEANS OF ION-ASSISTED DEPOSITION OF COATINGS

ELASTOMER, DEPOSITION OF COATINGS, ION-ASSISTED TECHNIQUE, COMPOSITION OF COATINGS, INTERDIFFUSION, ADHESION, WETTABILITY, HARDNESS, WEAR

The object of investigation involves physico-chemical processes and physico-mechanical properties of the surface of elastomer (based on polar rubber), modified by means self ion-assisted deposition of metal-based coatings (Me=Ti, Cr, Zr, Mo, W). The subject of investigation includes elemental and phase composition, structure, hardness, adhesion stability of metal-based coatings on elastomer, wettability, wear resistance of the surface of modified elastomer.

The aim of the work is ion-beam modification of the surface of elastomer (based on polar rubber) for improvement of its physico-mechanical properties and establishment of regularities of physico-chemical processes occurring on the surface of elastomer by means of self ion-assisted deposition of metal-based coatings.

We are the first to determine, that the composition of elastomer (based on polar rubber) corresponds to the formula $H_{39.7}C_{54.9}N_{5.0}O_{0.1}S_{0.1}Zn_{0.2}$.

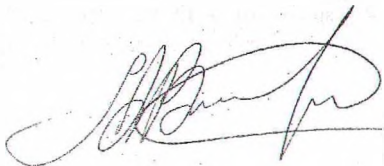
It is experimentally revealed, that the radiative action of accelerated metal ions, assisting deposition of coatings on the elastomer, promotes diffusion of metal atoms (except titanium) in the elastomer and colliding diffusion of sulfur, zinc on the whole thickness of the coating (except, coatings on the basis of titanium).

Adhesion stability of coatings is investigated on the basis of metals deposited on the elastomer under ion assistance in self-radiation conditions; and possible mechanisms of its change are include.

The opportunity of management of lyophilic and lyophobic properties of general mechanical elastomer goods working surface in different mediums is shown.

The decrease in 2-3 times of frictional force of the surface of elastomer modified deposition of metal-based coatings with rider under dry friction and mechanisms of friction reduction are defined.

Testing of modified general mechanical elastomer goods carried out at the JSC "GAZ" (Nizhniy Novgorod, Russia), and production association "BelavtoMAZ" (Baranovichi, Belarus) proved their perspective application in mechanical engineering.



Касперович Андрей Викторович

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНЫ
ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ**

Подписано в печать 28.01.2002. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ.л. 1,5. Усл.кр.-отт. 1,5. Уч.-изд.л.1,3.

Тираж 70 экз. Заказ 37

Учреждение образования “Белорусский государственный технологический университет”.

Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.98. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте учреждения образования “Белорусский государственный технологический университет”.

220050, Минск, Свердлова, 13.