

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.БАКУЛЯ

На правах рукописи

АЗИМЕ ХАЛИЛЬ

УДК 621.793.7

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ
ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ОБОРУДОВАНИЯ
НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ**

**Специальность 05.02.01 – Материаловедения в машино-
строении (промышленность)**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

20.22



00339957 (-)

Диссертация является рукописью, работа выполнена в Киевском политехническом институте, Киевском институте инженеров гражданской авиации и Институте сверхтвёрдых материалов им.В.Н.Бакуля АН Украины.

- Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Эпик Алексей Павлович
- Научный консультант - кандидат технических наук, доцент Лабунец Василий Фёдорович
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, проф. Ляшенко Борис Артемович
- кандидат технических наук Астахов Евгений Аркадьевич

Ведущая организация - Научно-исследовательский и проектный институт нефтяной промышленности, г.Киев

Защита состоится " 10 " февраля 1991 г. в _____ часов на заседании специализированного ученого совета Д 016.10.01 в Институте сверхтвёрдых материалов им.В.Н.Бакуля АН Украины по адресу: 254153, г.Киев-153, ул.Автомобильная, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института сверхтвёрдых материалов АН Украины.

Автореферат разослан " 4 " января 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого
совета доктор технических наук

А.Л. Майстренко

6 29.035

Актуальность работ. Надежная и длительная эксплуатация оборудования для добычи и переработки нефти имеет большое народнохозяйственное значение. Обычно выход из строя этого оборудования обусловлен износом, коррозионным или кавитационным разрушением рабочих поверхностей наиболее тяжело нагруженных деталей. Защита поверхности новых деталей и восстановление ее после определенного периода эксплуатации с помощью износ- и коррозионностойких покрытий представляет значительный технико-экономический интерес. Среди различных методов газотермического напыления (ГТН) покрытий особое место занимает детонационное напыление, позволяющее получать покрытия со значительно большей плотностью и прочностью сцепления с основой, чем другие газотермические покрытия. При выборе материалов покрытий следует учитывать не только их необходимые функциональные свойства, например, сопротивление износу, кавитации и коррозии при различных условиях работы, но и доступность их при массовом применении. В широком круге напыляемых материалов этим требованиям удовлетворяют, в частности, порошковые материалы на основе мелкодисперсного и недефицитного оксида алюминия. Применительно к деталям оборудования нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности метод детонационного напыления и оксидные материалы покрытий изучены недостаточно.

Данная работа посвящена разработке технологии детонационного напыления оксидных покрытий, исследованию их свойств и возможностей применения для защиты поверхностей деталей, подверженных разрушению в результате изнашивания, эрозии, коррозии или кавитации.

Целью работы является: разработка детонационных покрытий и исследование их свойств для использования в качестве защитных при изготовлении и ремонте тяжелонагруженных деталей нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего оборудования.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи:

1. Выбор порошковых мелкодисперсных и доступных износ- и коррозионностойких материалов для напыления покрытий.
2. Исследование ряда технологических параметров напыления, влияющих на свойства покрытий, и разработке на этой основе оптимальных режимов напыления.
3. Исследование механических, триботехнических, химических свойств покрытия в зависимости от их состава, толщины, условий напыления и испытаний.
4. Проведение производственных испытаний покрытий и выработка рекомендаций по их практическому применению для защиты деталей из стандартных углеродистых сталей от износа и коррозии.

Научная новизна. Изучено влияние ряда технологических факторов - состава газовой смеси, места ввода напыляемого порошка в ствол установки, угла напыления - на скорость частиц и пористость покрытий. Исследованы структура, пористость, фазовый и химический составы, твердость покрытий, нанесенных при выбранных режимах напыления. Проведена количественная оценка механических свойств покрытий из Al_2O_3 и композиций $Al_2O_3 + 3\% Cr_2O_3$ (или TiO_2) в зависимости от их толщины и определены оптимальные толщины покрытий для каждого состава. Показано, что добавка к порошку оксида алюминия оксидов хрома или титана в количестве 3% на 30-40% повышает адгезионную и когезионную прочность покрытий.

Исследованиями триботехнических характеристик оксидных покрытий в условиях абразивного изнашивания, кавитации, фреттинг-коррозии, граничного трения и трения скольжения без смазки, установлено, что покрытия существенно (в 3-4 раза) повышают эксплуатационные свойства поверхностей при всех условиях испытаний.

Установлено, что все исследуемые покрытия повышают жаро- и коррозионную стойкость стали 45 на 2-3 порядка. Показано, что добавки 3% TiO_2 (или Cr_2O_3) не снижают такие характеристики Al_2O_3 -покрытия.

Автор защищает:

1. Целесообразность применения оксидных детонационных покрытий для защиты поверхности тяжело нагруженных деталей от различных видов износа, коррозии и кавитации.

2. Разработанные технологические режимы детонационного напыления, обеспечивающие высокие значения плотности (97-98% от теоретической), адгезионную (300-500 МПа) и когезионную (400-700 МПа) прочности оксидных покрытий и, как следствие, их хорошие эргодические свойства - от износа, коррозии, кавитации.

3. Результаты исследования механических, триботехнических и химических свойств разработанных покрытий и полученные зависимости этих свойств от состава покрытий, их толщины и структуры.

4. Результаты производственных испытаний и рекомендации по использованию разработанных покрытий для повышения срока службы быстроизнашивающихся деталей оборудования.

Практическая ценность. Разработана технология детонационного напыления покрытий из порошковых материалов на основе оксида алюминия (электрокорунд нормальный, механические смеси $Al_2O_3 + 3\% TiO_2$ или $3\% Cr_2O_3$) на стальные подложки. Проведено комплексное исследование механических, триботехнических и химических свойств покрытий,

показавшее возможность их практического использования для защиты поверхности деталей от различных видов износа и коррозии.

Разработанная технология применена для нанесения окисных покрытий на тяжело нагруженные детали нефтедобывающего оборудования, в частности, аппараты погружного насоса. Детали с покрытиями прошли натурные испытания в условиях износа, коррозии и кавитации, которые показали, что предложенные покрытия повышают срок службы в 5-8 раз по сравнению с серийными деталями без покрытий. Технология может найти применение, как при изготовлении новых деталей, так и для восстановления изношенных. Естественно, разработанные покрытия могут использоваться не только для повышения надежности и долговечности деталей нефтеперерабатывающей промышленности, но и для других деталей машин и механизмов, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Апробация работы. Основные результаты работы положены и обсуждены на Межреспубликанской научно-технической конференции "Прогрессивные технологии производства, структура и свойства порошковых изделий, композиционных материалов и покрытий", г. Волгоград, 1992 г.; научном семинаре "Роль диффузионных процессов в формировании поверхности металлов с особыми свойствами и образовании неразъемных соединений", Киев, 1992 г.; международной научно-технической конференции "Разработка и внедрение новых технологий и оборудования в пищевую и перерабатывающую промышленность", Киев, 1993 г.; научно-технической конференции КИИГА, Киев, 1993 г. Результаты работы так же обсуждались на научных семинарах кафедры высокотемпературных материалов и покрытий КТИ и отдела технологии покрытий ИСМ АН Украины.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 печатных работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложения. Материал изложен на 133 страницах машинописного текста, включает 18 таблиц, 38 рисунков, список литературы из 107 наименований, приложение включает 8 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы, постановку цели и задачи исследования, формулировку научной новизны и практической ценности работы.

В первой главе рассмотрено состояние вопроса по теме работы и на этом основании сформулированы вопросы, требующие решения. Показано, что основными видами повреждения рабочих поверхностей

деталей нефтелубрируемого и нетепереобрабатываемого оборудования являются различные виды износа и коррозии и прежде всего абразивное, эрозивное, кавитационное изнашивание, а также фреттинг-коррозия. Это происходит вследствие воздействия на рабоче поверхности деталей машин достаточно высоких давлений и скоростей скольжения, а также агрессивных жидких и газовых сред, содержащих довольно часто абразивные частицы природного и искусственного происхождения. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с различными видами повреждения поверхностей является нанесение на них покрытий из материалов, значительно лучше сопротивляющихся данному виду повреждения.

Среди различных методов нанесения газотермических покрытий выбран детонационный, отличающийся простотой, универсальностью в отношении материалов покрытий и основы, и что особенно важно, обеспечивающий значительно большую плотность покрытий, а также их адгезионную и когезионную прочность по сравнению с электродными, газопламенными и плазменными покрытиями. Приведен краткий обзор оборудования, материалов и технологий для детонационного напыления покрытий, указаны их основные свойства и область применения. Показано, что детонационные покрытия уже давно применяются для защиты от разрушения поверхности тяжело нагруженных ответственных деталей, работающих в условиях высоких механических нагрузок, трения скольжения со смазкой и без нее, воздействия химически активных потоков газов и жидкостей в широком интервале скоростей и температур таких потоков. Другими словами, детонационные покрытия успешно защищают поверхность деталей, подвергающихся одновременно различным видам изнашивания и коррозии, а именно такому воздействию подвергаются многие детали нефтелубрируемого оборудования, например: лопатки вентиляторов и насосов, затворы трубопроводной арматуры, а для клапанов, уплотнительные и запорные втулки и кольца, головки штоков цилиндров и др. При выборе материалов покрытий предпочтение было отдано оксидным системам на основе нелетучего и недефицитного оксида алюминия, обладающего высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. На основании выполненного анализа состояния вопроса в качестве цели и задач исследования поставлены: разработка технологии нанесения оксидных детонационных покрытий, комплексное изучение их свойств, производственные испытания покрытий и выдача рекомендаций по их использованию.

Вторая глава содержит описание материалов, оборудования и методик, которые использовались для нанесения покрытий и оценки

их свойств. Основным материалом, из которого изготавливали образцы для нанесения покрытий, служили углеродистые стали марки 45 в сыром и термообработанном состоянии. Эти стали наряду с чугунами и нержавеющей стали разных марок широко используются при изготовлении конструктивных деталей оборудования. Кроме того, одной из целей работы являлось показателство возможности применения износ- и коррозионностойких покрытий для существенного повышения срока службы деталей из стандартных марок углеродистых сталей. Для нанесения покрытий использовали порошки глинозема ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), электрокорунда нормальной марки И5А /М40/ по ОСТ 2-МТ715-78 и их смеси с 3% оксида хрома по ТУ И13-12-ИИ. 068-86 или 3% оксида титана (рутила) по РТУ И175-76.

При исследовании структурн, фазового и химического состава покрытий, а также свойств поверхности после испытаний на изнашивание использовали комплексную методику, включающую следующие методы анализа: металлографический, электронно-микроскопический, рентгеноструктурный и фазовый, трибоспектральный. Металлографический анализ проводили на микроскопах МИМ-8, МИР-2Р и "Неофот-21" при увеличении от 100 до 1000 крат. Для измерения твердости и микротвердости использовали приборы Роквелла (шкала "С") и ПМТ-3, измерения проводили в соответствие с гостовскими методиками. Электронно-микроскопические и рентгеноспектральные исследования осуществляли на РЭМ "CamsCan" (Великобритания) с автоматической записью элементного анализа с помощью системы "Link - 860". Она позволяет проводить запись элементного состава образца на экран дисплея или самопишущего устройства.

Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы проводили на дифрактометре ДРОН - ИУМ. Расшифровывали дифрактограммы с помощью справочных таблиц.

Методика трибоспектральных испытаний основана на выявлении и сравнительном исследовании статистических связей между структурой поверхностных слоев и их прочностью, процессами контактного взаимодействия и характеристиками трения. Трибоспектральный анализ осуществляется на специальной лабораторной установке, включающей механическую и информационную систему. По характеристикам, полученным в процессе трибоспектрального анализа, можно оценить изменение структурного состояния поверхностного слоя, его прочность и однородность.

Триботехнические характеристики покрытий определяли в условиях трения скольжения без смазки и в масле И-20, при кавита-

ционном и абразивном изнашивании, а также в условиях фреттинг-коррозии по металикам и на установках, разработанных Киевским институтом инженеров гражданской авиации. Испытание на трение-скольжение проводили на машине трения М-22М при скорости скольжения 1 м/с, нагрузках от 1 по 4 МПа и пути трения 1000 м. Контрольным служил вал из стали 45, HRC 48-52. Испытания на абразивную износостойкость проводили в условиях незакрепленного абразива - карбида кремния. Кавитационную стойкость определяли на экспериментальной установке с конфузorno-диффузорным насадком. В качестве рабочей жидкости использовали масло АМ-10, скорость истечения которого из сопла составляла 180 м/с при давлении на входе 15 МПа и перепаде давления 0,93. Параметрами кавитационной стойкости выбраны продолжительность инкубационного периода и потеря массы в процессе кавитационного разрушения покрытия. Стойкость покрытий на фреттинг-коррозию определяли при 20°С на воздухе по ГОСТ 23.211-90 при условиях: контроле закаленная ст. 45, нагрузка 50 МПа, амплитуда перемещения 50 мкм, частота 30 Гц, база испытаний $5 \cdot 10^5$ циклов.

Определение механических характеристик покрытия, а именно модуля упругости, когезионной и адгезионной прочности, проводили по методике, разработанной в Институте проблем прочности АН Украины. Согласно этой методике свойства покрытий определяли в результате испытания на разрыв стандартных плоских образцов (по ГОСТ 3248-60) с нанесенными на них покрытиями по определенной заранее заданной программе. К покрытиям в различных местах крепятся датчики акустической эмиссии, сигналы от которых при растяжении образца, фиксируются при помощи прибора АП15. С когезионной и адгезионной прочностью покрытия можно судить по нормальным σ_n (когезионная прочность) и касательным τ_{cy} (адгезионная прочность) напряжениям, действующим в покрытии к моменту его разрушения. Момент разрушения устанавливается по резкому усилению регистрируемого сигнала акустической эмиссии. Связь между растягивающими усилиями, относительной деформацией и напряжениями в покрытии в упругой области деформирования определяется по уравнениям:

$$\sigma_n = \frac{E_0}{h \left(\frac{1}{E_0 H} + \frac{1}{E_n h} \right)} \cdot \left[1 - \frac{\text{ch}(kz)}{\text{ch}(kL)} \right],$$

$$\tau_{cy} = \frac{E_0 K}{E_0 H + E_n h} \cdot \frac{\text{sh}(kz)}{\text{ch}(kL)}$$

где ϵ_0 - относительная деформация основы под действием внешней нагрузки P ; $2H$, h - толщины основы и покрытия; E_0, E_n - модули упругости основы и покрытия; l - базовый размер образца.

Коэффициент жесткости композиции K определяется по уравнению:

$$K^2 = \frac{\frac{G_0}{H} \cdot \frac{G_n}{h}}{\frac{G_0}{H} + \frac{G_n}{h}} \cdot \left(\frac{1}{E_n h} + \frac{1}{E_0 H} \right)$$

где G_0, G_n - модули сдвига основы и покрытия.

В момент, когда напряжения в композиции критических сечениях образца ($z = 0, z = l$) достигают критического значения $\sigma_{кр}$, $\tau_{сжкр}$ происходит разрушение покрытия (z - координата в направлении растяжения образца).

Жаростойкость и коррозионную стойкость покрытий определяли весовым методом путем периодического взвешивания образцов, подвергнутым воздействию активной газовой или жидкой среды. Испытания на жаростойкость проводили в воздушной среде при температурах $700-1000^\circ\text{C}$ в течение 100 ч с периодическим взвешиванием через 24 часа. Коррозионную стойкость покрытий оценивали по результатам испытаний в 10 и 20%-ных растворах азотной и серной кислот, как высокоагрессивных сред, при комнатной температуре в течение 600 час. с периодическим взвешиванием для материалов без покрытия через 12 часов, с покрытиями - 48 часов.

В главе третьей приведены результаты исследования влияния некоторых технологических факторов на процесс напыления и свойства покрытий. Среди большого числа технологических параметров, которые оказывают влияние на формирование и свойства покрытия, наиболее важными являются: состав газовой смеси, величина порции порошка за один цикл напыления, степень заполнения ствола взрывчатой смесью, расстояние до подложки. Эти параметры влияют на энергетические характеристики продуктов detonации - скорость, температуру, плотность, время взаимодействия с порошком, следовательно, на скорость и температуру частиц порошка, которые, в основном, и определяют условия формирования и состав покрытий. Важными конечными факторами, влияющими на условия формирования покрытий, являются температура в месте контакта порошка с подложкой, давление в контакте и время взаимодействия порошка с подложкой.

Поскольку часть технологических параметров была заранее определена и не менялась (доза порошка, форма и размер частиц, расстояние до подложки и др.) представлялось необходимым и важным в практическом отношении определить влияние состава газовой смеси

тий от их состава и толщины. Из представленных на рис. I данных видно, что с ростом толщины покрытий обоих составов наблюдается резкое падение механических характеристик. При толщинах 0,2 и 0,4 мм более высокими механическими свойствами обладают покрытия состава $Al_2O_3 + 3\% Cr_2O_3$ (или $3\% TiO_2$), а при толщине 0,7 мм покрытия из Al_2O_3 . Это явление, очевидно, можно объяснить тем обстоятельством, что добавка оксида хрома повышает твердость и модуль упругости покрытий примерно на 10%. Покрытия из чистого Al_2O_3 являются более пластичными, что и сказывается на увеличении механических характеристик при большей толщине покрытия - 0,7 мм. Рентгеноструктурные исследования покрытий показали, что в случае напыления чистого глинозема их состав представляет преимущественно $\delta-Al_2O_3$ (80-90%) и остальное в основном $\alpha-Al_2O_3$. Микротвердость таких покрытий была в пределах 11500-12000 МПа. Покрытия из смеси $Al_2O_3 + 3\% Cr_2O_3$ (или $3\% TiO_2$) также состояли из α и δ - фаз. Чистые оксиды хрома в покрытии практически отсутствуют. Очевидно происходит растворение его в оксиде алюминия в процессе напыления. Рентгеноспектральный анализ показал наличие в покрытии редких тонкодисперсных включений чистого хрома, который мог образоваться за счет восстановления. Эти результаты согласуются с имеющимися в литературе данными. Микротвердость покрытий $3\% Cr_2O_3 (TiO_2)$ была выше, чем у покрытий из чистого Al_2O_3 и составила 21000-23000 МПа, что близко к значениями микротвердости легированного хромом электрокорунда.

Исследование зависимости предела пропорциональности и предела прочности до разрушения покрытий из Al_2O_3 при изгибе от их толщины (в пределах 0,1-0,5 мм) их значения также уменьшаются с ростом толщины покрытия, причем предел прочности был во всех случаях выше на 150-200 МПа предела пропорциональности (рис. 2). Значения этих параметров для толщины покрытий 0,1; 0,3 и 0,5 мм для предела пропорциональности и предела прочности соответственно составили: 500 и 700 МПа, 350 и 550 МПа, 250 и 400 МПа.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что толщина детонационных оксидных покрытий для сохранения необходимого уровня механических характеристик должна быть в пределах 0,1 - 0,4 мм. Литературные данные также подтверждают этот вывод и оксидные покрытия обычно наносят толщиной не более 0,3 мм, особенно для тяжело нагруженных деталей.

Глава пятая посвящена исследованию триботехнических характеристик детонационных покрытий.

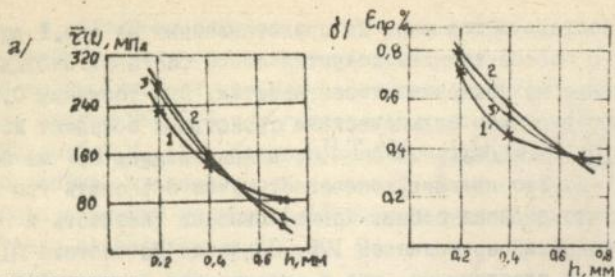


Рис.1. Зависимость критической деформации покрытий (а), касательных и нормальных напряжений (б, в) от толщины и состава покрытий.

1 - Al_2O_3 ;
 2 - $Al_2O_3 + 3\% Cr_2O_3$
 3 - $Al_2O_3 + 3\% TiO_2$

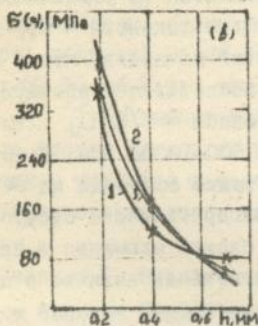


Рис.2. Влияние толщины покрытия из Al_2O_3 на прочность характеристики: 1 - предел пропорциональности;
 2 - предел прочности до разрушения;
 при изгибе.

В этих исследованиях ставилась задача определения износостойкости детонационных покрытий в условиях трения скольжения без смазки, граничного трения, фреттинг-коррозии и кавитационного изнашивания.

При трении скольжения (рис.3) в воздушной среде коэффициент трения детонационных покрытий, испытанных в паре с закаленной ст.45 с увеличением удельной нагрузки уменьшается, а интенсивность изнашивания уменьшается. При небольших удельных нагрузках (0,5 - 1,5 МПа) отличие в износостойкости детонационных покрытий незначительно, однако, с увеличением удельной нагрузки оно возрастает. При 4 МПа интенсивность изнашивания детонационного покрытия из 2,3 раза меньше, чем покрытия из электрокорунда.

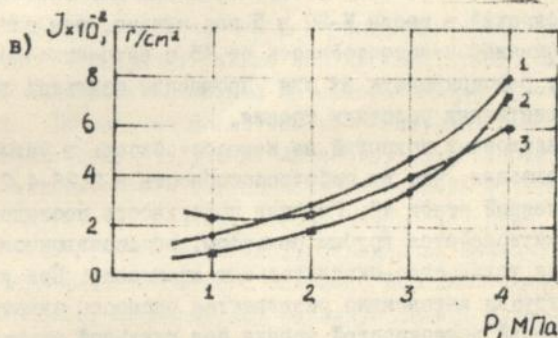
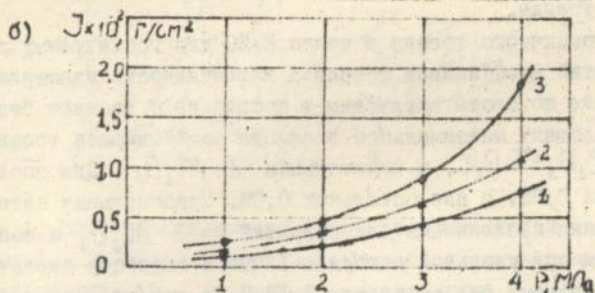
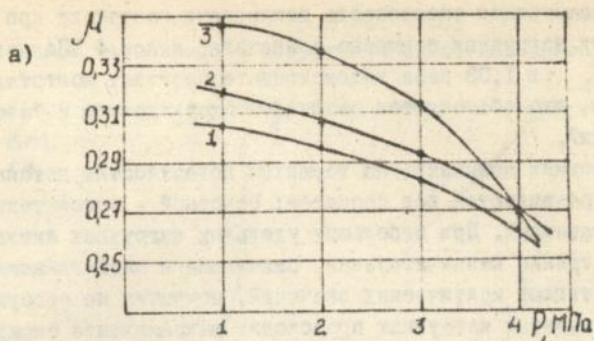


Рис.3. Зависимость коэффициента трения и износа оксидных покрытий от нагрузки при испытании на трение скольжения в воздухе при $V = 1$ м/с, контроле ст. 45 зак. HRC 56-58; а) коэффициент трения, б) износ покрытий, в) износ контролеа; 1 - покрытия из Al_2O_3 , 2 - из $Al_2O_3 + 3\% TiO_2$, 3 - из электрокорунда нормальный (марка 15А).

В то же время изнашивающая способность покрытий контртела при небольших удельных нагрузках примерно одинакова, а при 4 МПа покрытия из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в 1,33 раза интенсивнее изнашивают контртело, чем электрокорунд, что объясняется различием структурного и фазового состава покрытий.

В данных условиях испытаний на трущихся поверхностях детонационных покрытий развиваются два процесса: основной – окислительный; второй – абразивный. При небольших удельных нагрузках активация поверхностей трения незначительная, сжимающие и растягивающие напряжения не достигают критических значений, покрытия не разрушаются. При больших удельных нагрузках происходит выкрашивание окисленных частиц, которые приобретают хлопьевидную форму после передеформирования в процессе трения.

В условиях граничного трения в масле И-20 для исследуемых детонационных покрытий коэффициент трения и интенсивность изнашивания на порядок ниже по своим величинам в сравнении с трением без смазки. В этих условиях максимальное значение коэффициента трения имеет покрытие $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$, а минимальное $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Для последнего она составила 0,05, а для остальных 0,09. Максимальная интенсивность изнашивания наблюдалась для покрытий из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и составляла 5,5 мкм/км при удельной нагрузке 1 МПа и скорости скольжения 1 м/с. Для остальных она составила 2,18–2,25 мкм/км. Интенсивность изнашивания покрытий в масле И-20 в 5 раз меньше, чем для закаленной ст.45. Повышенная износостойкость ст.45 с детонационными покрытиями позволяет рекомендовать их для упрочнения стальных деталей, работающих в идентичных условиях трения.

Испытание детонационных покрытий на износостойкость в условиях фреттинг-коррозии показали, что их работоспособность в 3,26–4,2 раза выше, чем у закаленной стали 45. Рабочая поверхность последней после испытаний характеризуется грубым рельефом, образовавшимся в результате протекания усталостно-окислительных процессов. При увеличении удельной нагрузки интенсивно развиваются процессы схватывания. Глубина повреждений поверхностей трения при удельной нагрузке 50 МПа составляет 22–26 мкм.

При трении детонационных покрытий, имеющих более высокую коррозионную стойкость и большую сопротивляемость абразивному изнашиванию, чем закаленная сталь, развитие усталостно-окислительных процессов замедляется. Поверхность трения покрытий гладкая, без вырывов и узлов схватывания.

Результаты сравнительных испытаний на кавитационную стойкость

различных материалов с покрытиями и без них представлены на рис. 4.

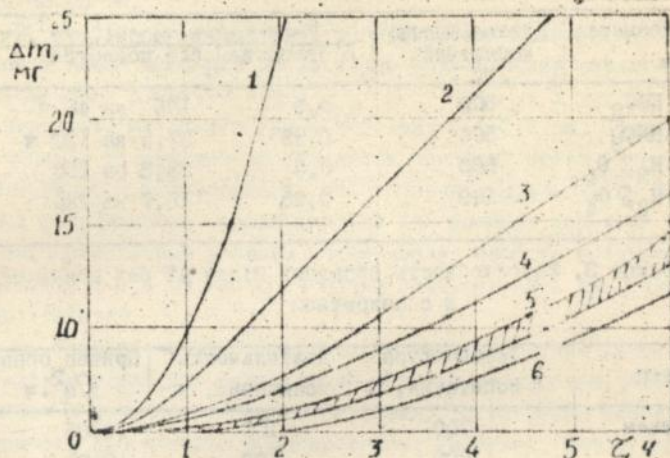


Рис. 4. Зависимость потери массы от времени при кавитации образцов: 1 - ВЧ-50; 2 - БрСт10-Г; 3 - ст.45 закаленная; 4 - ст.45 борированная; 5 - летонапассивные покрытия; 6 - 12Х18Н9Т

Из рис. 4 видно, что летонапассивные покрытия по кавитационной стойкости уступают только нержавеющей стали 12Х18Н9Т и значительно превосходят материалы на основе чугуна, меди и закаленную сталь. На рабочих поверхностях испытываемых летонапассивных покрытий кавитационных разрушений на первом часе испытаний не наблюдается. Продолжительность инкубационного периода в 5-15 раз больше, чем для других материалов. Летонапассивные покрытия, состоящие из крупных монолитных образований, обладающие незначительной пористостью, прочной сцепляемостью с основой, высокой абразивной и коррозионной стойкостью, обеспечивает надежную защиту углеродистых сталей от кавитации.

В шестой главе приведены результаты исследований коррозионной стойкости покрытий в 10 и 20%-ных растворах серной и азотной кислот, а также их жаростойкости на воздухе в интервале температур 700-1000°C. Для сравнения испытывали образцы стали 45 без покрытий.

Полученные результаты по коррозионной стойкости представлены в табл. 2, а по жаростойкости в табл. 3.

Таблица 2. Коррозионная стойкость образцов стали 15
с покрытиями

Коррозионность средн	Длительность испытаний, ч.	Уменьшение массн. г/м ² · ч	
		с покрытием	без покрытия
10% р-р HNO ₃	500	0,5	125 за 40 ч
20% р-р HNO ₃	500	0,35	37,5 за 120 ч
10% р-р H ₂ S O ₄	500	0,3	33,3 за 150 ч
20% р-р H ₂ S O ₄	500	0,25	18,7 за 240 ч

Таблица 3. Жаростойкость образцов стали 45 без покрытия
и с покрытием

Образец	Температура испытания, °С	Длительность испытания, ч.	Привес образцов, г/м ² · ч
с покрытием	700	100	0,05
—"	800	100	0,09
—"	1000	100	0,19
без покрытия	800	100	7,50
—"	1000	100	120

Из данных таблиц отчетливо видно, что покрытия надежно защищают сталь от коррозии в течение сотен часов и обладают жаростойкостью при температурах 800–1000°С примерно на два порядка. Таким образом, эти покрытия могут быть рекомендованы как защитные от коррозии в растворах кислот от окисления на воздухе до 1000°С.

Разработанные покрытия были применены для защиты от износа и коррозии деталей погружных центробежных насосов для добычи нефти. Насосы прошли производственные испытания на Экспериментальном производственном предприятии по прокату и ремонту погружных установок ПО "АЗИЕТЬ", которые показали повышение срока службы деталей в 5–8 раз.

ВЫВОДЫ

I. Исследовано влияние технологических факторов – состава газовой смеси, положения порошка в стволе и других на скорость полета частиц и пористость летонационных покрытий из Al₂O₃. Установлено, что наиболее высокой плотностью (пористость около 4%) обладают покрытия, полученные при содержании ацетилена в смеси в количестве 30–35 об.%, скорости частиц 770–860 м/с и при вводе

порошка в ствол на 550–600 мм от его среза. Отмечено также, что повышение скорости частиц не всегда приводит к увеличению плотности покрытия.

2. Впервые применительно к детонационным покрытиям с использованием новой методики исследованы механические характеристики детонационных покрытий из Al_2O_3 и $Al_2O_3 + 3 \text{ мас. \% } Cr_2O_3$ (TiO_2) в зависимости от их толщины в пределах 0,1–0,7 мм. Показано, что адгезионная и когезионная прочность покрытий резко снижается с ростом толщины. Установлено, что добавка Cr_2O_3 или TiO_2 на 30–40% повышает механические характеристики при толщине покрытий от 0,1 до 0,4 мм. Достаточным уровнем механических свойств обладают покрытия толщиной 0,1–0,4 мм, которые можно рекомендовать для тяжелонагруженных деталей.

3. Определены триботехнические характеристики покрытий в условиях абразивного изнашивания, трения скольжения, эрозийно-коррозии и кавитационного изнашивания. Установлены основные закономерности изнашивания в определенных условиях контактного взаимодействия.

4. Показано, что в условиях абразивного изнашивания износостойкость покрытий коррелирует с их твердостью. С увеличением твердости покрытий их износостойкость увеличивается. Максимальную износостойкость имеют покрытия электрокорундом, которая в 4,12 раз выше, по сравнению с закаленной сталью 45.

5. Изучены процессы, развивающиеся на рабочих поверхностях покрытий при трении скольжения. Установлено, что в этих условиях на трущихся поверхностях развиваются окислительные процессы. При увеличении нагрузки 3,0 МПа в условиях трения скольжения без смазки на рабочих поверхностях покрытий параллельно с основным окислительным процессом развивается сопутствующий процесс – абразивный. В этих условиях максимальной износостойкостью обладает пара трения закаленная сталь – оксидное покрытие Al_2O_3 , однако истирающая способность этого покрытия больше, чем покрытия $Al_2O_3 + TiO_2$ и электрокорунда.

6. Установлено, что в условиях кавитации в среде масла АМТ-10, катастрофического изнашивания не наблюдается, несмотря на повышенную хрупкость оксидов. Высокая абразивная износостойкость и коррозионная стойкость покрытий, минимальная пористость (не более 2,5%) и прочная адгезия с основой обеспечивают высокую кавитационную стойкость покрытий в исследованных режимах испытаний.

Капитационная стойкость покрытий существенно превышает стойкость чугуна, бронзы БрОФ10-1, закаленной стали 45 и несомненно уступает хромоникелевой нержавеющей стали 12Х18Н9Т.

7. Определена фреттингостойкость покрытий. Показано, что в условиях фреттинг-коррозии износостойкость покрытий в 3,26±4,2 раза выше по сравнению с закаленной сталью 45.

8. Показано, что коррозионная стойкость стали 45 с покрытиями в растворах азотной и серной кислот, а также жаростойкость при температурах 700-1000°C на воздухе повышаются на два порядка и более. Поэтому эти покрытия могут быть рекомендованы, как защитные от коррозии в кислотных средах и окисление на воздухе.

9. Разработанные покрытия прошли производственные испытания на деталях погружного центробежного насоса для добычи нефти и обеспечили повышение их ресурса работы в 5-8 раз.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Зверев А.И., Пашенко В.И., Элик А.П., Азиев Х.М.

Детонационные покрытия для деталей нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего оборудования. / Тезисы докладов Межреспубликанской научно-технической конференции "Прогрессивные технологии производства, структура и свойства порошковых изделий, композиционных материалов и покрытий". Волгоград. - 1992. - С.21.

2. Веремчук В.С., Элик А.П., Азиев Халиль. Оптимизация газотермической технологии нанесения покрытий по параметрам прочности / Тез. докл. науч. сем. "Роль диффузионных процессов в формировании поверхности металла с особыми свойствами и образовании неразъемных соединений". Киев: Об-во "Знание" Украины, 1992. - С.11.

3. Лабунец В.Ф., Кригорюк В.М., Азиев Халиль.

Влияние детонационных покрытий на износостойкость конструктивных сталей. / Тезисы доповіді Міжнародної науково-технічної конференції "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість". Київ: КТІХП, 1993. - С.588.

Зах. №773. тир. 100. ВІСН "Київський
університет" Київ, Б.Шевченка, 14.

AB 29.055

AB 29.055

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

[Handwritten signature]