

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

---

УДК 621.793.7  
МРНТИ 29.00.00

## СОСТОЯНИЕ ОБОРУДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Д.К. ЕРМЕКОВ, В.В. ПОВЕТКИН, РУТКУНИЕНЕ ЖИВИЛЬЕ

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

**Аннотация:** В статье коротко описана роль износостойких покрытий в современной промышленности, приведены износостойкие покрытия разных видов для применения в различных отраслях промышленности. Также приведены основные методы и виды нанесения износостойких порошков. Рассмотрены основные теории исследования адгезионных свойств металлических и износостойких материалов. На основе исследований были выявлены перспективные направления, создания, стандартизации инновационных технологий для повышения износостойкости оборудования и деталей.

**Ключевые слова:** износостойкое покрытие, нанесение покрытий, адгезионные свойства, повышение износостойкости, стандартизация

## THE CONDITION OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR THE APPLICATION OF WEAR RESISTANT COATINGS ON TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

**Abstract:** The article briefly describes the role of wear-resistant coatings in modern industry, shows the wear-resistant coatings of various types for applications in various industries. The basic methods and types of application of wear-resistant powders are also given. The main theories of studying the adhesive properties of metallic and wear-resistant materials are considered. Based on the research, promising areas were identified, the creation, standardization of innovative technologies to improve the durability of equipment and parts.

**Keywords:** wear-resistant coating, coating application, adhesion properties, increased wear resistance, standardization

## ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРҒА ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ЖАБЫНДАРДЫ ҚОНДЫРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ЖАҒДАЙЫ

**Аңдатпа:** Мақалада заманауи өнеркәсіптегі тозуға төзімді жабындардың маңызы сипатталған, өнеркәсіптің түрлі салаларында қолданылатын тозуға төзімді жабындардың түрлері келтірілген. Сонымен қатар тозуға төзімді ұнтақтарды қондырудың негізгі тәсілдері де ұсынылған. Металды және тозуға төзімді жабындардың адгезиялық қасиеттерін зерттеудің негізгі теориялары қарастырылған. Жүргізілген зерттеулердің негізінде, қондырғылар мен тетіктердің тозуға төзімділігін арттыру мақсатында инновациялық технологияларды жасап шығару, стандарттау бағыттары айқындалған.

**Түйінді сөздер:** тозуға төзімді жабын, жабындарды қондыру, адгезиялық қасиет, тозуға төзімділікті арттыру, стандарттау

## Введение

На сегодняшний день в большинстве материалоемких отраслей промышленности большое внимание уделяется увеличению срока службы и восстановлению рабочих поверхностей различных деталей и механизмов. В ряде случаев для увеличения ресурса деталей является целесообразным применение различных способов нанесения защитных и упрочняющих покрытий на их рабочие поверхности. При этом удается достигнуть значительной экономии дорогостоящих материалов, так как из простых материалов, а все необходимые эксплуатационные характеристики обеспечивает защитное покрытие, нанесенное на рабочую поверхность детали.

Известно, что основные оборудования и их различные детали, которые используются в промышленных предприятиях, эксплуатируются в условиях повышенного абразивного износа. Рабочая среда таких оборудований и деталей сочетает в себе давление, вибрацию, ударные нагрузки, химическая агрессия, результатом чего могут являться не только снижение производительности, потери прибыли предприятия, а также к авариям. Например, интенсивный износ твердыми абразивными частицами ковшей экскаваторов и погрузчиков, режущих кромок бульдозеров, шарошечных долот, бурильных головок, деталей узлов дробильно-сортировочных комплексов и т.д. И это только в горнодобывающей отрасли. Такие проблемные участки можно исчислять во многих промышленных объектах.

## Износостойкие материалы

Так в мире существует множество видов износостойких защитных покрытий в виде прутков, сварочных электродов, порошковых сплавов и т.д. Основным материалом, применяемым для упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий является порошок. Применяют порошковые материалы как однородные (металлы, сплавы, оксиды, бескислородные тугоплавкие соединения), так и сложной структуры (механические смеси, композиционные порошки, в том числе вступающие при нагревании в экзотер-

мические реакции с выделением тепловой энергии).

Параметры порошкового материала обусловлены как физико-химическими свойствами самого материала порошка, так и влиянием внешних факторов, в том числе транспортирующего газа и др.

Порошковые материалы имеют следующие основные параметры [1]:

- плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ;
- скорость движения частиц в транспортирующем канале (близка к скорости газа) 2,0-4,5 м/с;
- массовый расход порошкового материала 0,25-2,00 г/с, большое количество порошка, подаваемого в струю, охлаждает ее и снижает эффективность процесса;
- физические свойства транспортирующего порошок газа (вязкость и др.);
- скорость испарения, сублимации и диссоциации порошкового материала, %;
- плотность потока напыляемых частиц по объему;
- суммарная плотность частиц (пористость) по пятну напыления  $10^3$ - $10^5$  частиц/ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , на рисунке 1 приведены схематические зависимости параметров от диаметра частиц порошка в процессе нанесения;
- форма и размер частиц;
- текучесть порошка по всему треку передвижения (определяется по ГОСТ 20899-75);
- максимально допустимый диаметр частиц порошкового материала (фракция).

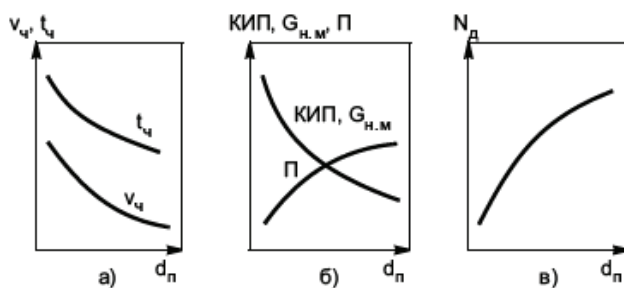


Рис. 1 – Зависимость параметров плазменного напыления: скорости  $V_{ch}$  и температуры  $t_{ch}$  частиц (а), КПП, производительности и пористости покрытия  $P$  (б), мощности дуги  $N_d$  (в) от диаметра  $d_n$  частиц порошка

В силу спроса и предназначений на сегодняшний день существует различные модификации коррозионно-износостойких порошковых сплавов на рынке:

Металлические порошки на основе железа (высоколегированная сталь): FeCrSiMoWV, FeCrNiSiMoMn, FeCrNiSiMn, FeCrNiSiMoMn;

Металлические порошки на основе железа (высоколегированная углеродистая сталь);

Металлические порошки на основе железа (нержавеющая сталь): FeCrNiSiMo FeCrSiMn FeCr;

Металлические порошки на основе железа (углеродистая сталь): X13;

Металлические порошки на основе железа (хром-алюминиевая сталь): X16H2;

Металлические порошки на основе железа (хромистая сталь): X16H2;

Металлические порошки на основе железа (хромо-никелевая сталь): 316L;

Металлические порошки на основе железа (алюмо-молибденистая сталь);

Металлические порошки на основе кобальта: CoCrMoNi, CoCrW, CoCrWNi, CoNiCrAlY;

Металлические порошки на основе никеля: 20-Б, NiAl, NiAlMo, NiCoCrAlHfYSi, NiCoCrAlTaY, NiCoCrAlY, Ni-171, NiCrAlMo, NiCrAlMoFe, NiCrMoNb, NiCrMoNb, NiCrMoW;

Порошки самофлюсующихся сплавов: ПГ-Ж40, ПГНА-1, NiCr, NiBSi, NiCrBSi, NiCrBSiCuMo.

### **Методы нанесения**

Энергетическое состояние частиц порошка в наплавляемой или напыляемой струе находится в сложной зависимости от большого числа параметров. С одной стороны, это теплофизические свойства материала порошка: плотность, теплоемкость, теплопроводность, теплота плавления, размеры и форма частиц и другие свойства (фракция), с другой – это характеристики наплавляемой или напыляемой струи: скорость и температура, вязкость, теплопроводность и теплосодержание, степень диссоциации и ионизации молекул/атомов газа.

Оптимизировать указанные параметры в конкретном технологическом процессе наплавки или напыления при упрочнении и восстановлении рабочей поверхности деталей оборудования – задача весьма сложная. В целях удовлетворения различных требований (износостойкость к ударным нагрузкам, трениям или коррозионностойкость в различных коррозионных средах) и в зависимости режимов работ деталей существуют несколько видов по нанесению сплава на детали оборудования.

**Электродуговая металлизация** применяется для нанесения покрытий из проволок металлов и сплавов.

Достоинства метода электродуговой металлизации:

- низкие энергозатраты на получение покрытия;
- высокая производительность процесса (до 100 кг/ч и более по цинку) при достаточно эффективном использовании распыляемого материала (0,65-0,8);
- значительные толщины напыляемого покрытия (до 10-15 мм);
- относительно малое тепловое воздействие на основу (нагрев в пределах 80-200°C);
- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения размеров;
- легкость и простота обслуживания оборудования, его высокая надежность;
- возможность автоматизации процесса с созданием автоматических линий.

Основные недостатки, которые имеет электродуговая металлизация:

- ограниченный круг материалов для напыления из-за требований электропроводности и поставки в виде проволоки;
- наличие значительного количества оксидов в покрытии, что снижает его ударную прочность;
- не во всех случаях достаточная прочность сцепления покрытий с основой (15-45 МПа);
- наличие пористости препятствует применению покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки.

**Газопламенное напыление** применяется для напыления покрытий из порошков металлов, их сплавов, композиций, окислов, органических соединений и т.п., проволоки, керамических стержней.

К основным достоинствам газопламенного напыления покрытий относятся:

- возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся при температуре до 2800°C без разложения;

- относительно малое тепловое воздействие на подложку (в пределах 50-150°C), что позволяет наносить покрытия на поверхность широкого круга материалов, включая пластмассы, дерево, картон и т.п.;

- толщина покрытия может быть обеспечена в пределах от 50 мкм до 10 мм и более;

- возможность регулирования газового режима работы горелки позволяет управлять химическим составом среды (восстановительная, нейтральная, окислительная) и энергетическими характеристиками струи и напыляемых частиц;

- высокая производительность процесса (до 10 кг/ч), например, 8-10 кг/ч для порошков самофлюсующихся сплавов типа ПГСР4 при расходе ацетилена 0,9 м<sup>3</sup>/ч и высокий коэффициент использования материала (0,60-0,95);

- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения их размеров при наличии необходимых средств механизации и обеспечении правил техники безопасности;

- относительно низкий уровень шума (см. Средства защиты от шума) и излучений;

- возможность во многих случаях нанесения покрытий при любом пространственном положении аппарата;

- легкость и простота обслуживания оборудования;

- гибкость технологии и мобильность оборудования, что позволяет производить газопламенное напыление на месте, без демонтажа изделий;

- возможность автоматизации процесса и встройки в автоматическую линию с небольшими затратами и др.

Основными недостатками газопламенного метода напыления покрытий являются:

- недостаточная в некоторых случаях прочность сцепления покрытий с основой (5-45 МПа) при испытании на нормальный отрыв;

- наличие пористости (обычно в пределах 5-25%), которая препятствует применению покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки;

- невысокий коэффициент использования энергии газопламенной струи на нагрев порошка (2-12%);

- невозможность нанесения покрытий из тугоплавких материалов с температурой плавления более 2800°C.

**Плазменное напыление** покрытий является одним из видов газотермического напыления покрытия (ГОСТ 28076-89), применяемого в технологии упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей машин, механизмов, аппаратов, приборов и др. Плазменное напыление широко применяется для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий. К существенным технико-экономическим достоинствам технологии относятся:

- высокая производительность процесса;

- получение высококачественного покрытия, особенно в условиях общей защиты;

- наличие большого количества технологических факторов, варьирование которых обеспечивает гибкое регулирование процесса напыления;

- высокий коэффициент использования порошкового материала;

- широкая доступность метода как в основном, так и ремонтном производстве;

- экономичность;

- невысокая стоимость простейшего оборудования;

- возможность комплексной механизации и автоматизации процесса;

- продление ресурса дорогостоящих деталей (коленчатых валов, подшипников скольжения, поршневых колея и др.);

- универсальность применения порошковых материалов, в том числе с высокой температурой плавления.

Метод плазменного напыления покрытий имеет также ряд недостатков, которые по существу являются резервом в совершенствовании технологии, а именно:

- низкий коэффициент использования электроэнергии, по порошкам 0,001-0,020;
- наличие несплошности (пористости) покрытия (2-15%), в ряде случаев пористость способствует удержанию смазочного материала в покрытии, что эффективно сказывается на работе деталей в условиях сопряженного трения;
- невысокую прочность сцепления покрытия с основой и в самом покрытии – 80-100 МПа;
- высокий уровень шума – 60-120 дБ;
- необходимость использования средств индивидуальной защиты от вредных и опасных воздействий в процессе напыления.

Широкое применение плазменного напыления покрытий, особенно для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий широкой номенклатуры, обуславливает необходимость повышения уровня применяемого оборудования и материалов, в том числе:

- повышение надежности и ресурса электродуговых плазмотронов, порошковых дозаторов, камер для напыления и абразивной обработки;
- повышение надежности и эффективности систем водо- и газоснабжения плазменных установок;
- совершенствование технологии плазменного напыления покрытий при расширении номенклатуры напыляемых деталей;
- увеличение номенклатуры применяемых порошковых материалов с целью расширения эксплуатационных свойств плазменного покрытия;
- повышение уровня мероприятий по защите обслуживающего персонала от вредных и опасных воздействий, возникающих в процессе плазменного напыления и др.

**Детонационное напыление** применяется для напыления покрытий из порошков металлов, их сплавов, оксидов, тугоплавких соединений, различных композиций и т.п., которые не должны разлагаться и возгоняться

в продуктах детонации и иметь достаточную разницу между температурами плавления и кипения (не менее 200<sup>0</sup>С).

Основные достоинства метода детонационного напыления:

- возможность получения покрытий из большинства порошков, плавящихся при температуре до 2800<sup>0</sup>С без разложения.
- возможность нанесения покрытий на различные материалы (металлы – с твердостью поверхности до 60 НРС, керамику, стекло, пластмассу и др.);
- отсутствие деформации напыляемой поверхности;
- возможность получения покрытий с пористостью 0,5-1,5% и высокой прочностью сцепления покрытий с основой (никель – 100 МПа, ПН70Ю30 – 100 МПа, оксид алюминия – 30 МПа);
- возможность управлять химическим составом продуктов детонации (восстановительный, нейтральный, окислительный) и энергетическими характеристиками процесса за счет регулирования газового режима;

- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения их размеров при наличии средств механизации и обеспечении правил техники безопасности.

Основные недостатки метода детонационного напыления:

- высокий уровень шума в помещении (см. Средства защиты от шума), где производится детонационное напыление покрытий, достигающий 140 дБ;
- наличие продуктов сгорания смеси горючий газ-кислород с образованием вредных компонентов (СО, углеводороды, оксиды азота);
- наличие концентрации взвешенных в воздухе частиц напыляемого порошка размером 5-150 мкм >150 мг/м<sup>3</sup>.

В связи с перечисленными особенностями все детонационные оборудования необходимо размещать в специальных помещениях производственного участка.



### **Исследование адгезионных свойств металлических и износостойких покрытий**

Адгезия покрытий, то есть явление сцепляемости покрытий с подложкой при их контакте, характеризующее связь между ними, вызвана взаимодействием между молекулами (атомами) контактирующих тел и оценивается адгезионной прочностью, которая определяется экспериментально различными методами отрыва или разрушения покрытия [2]. При отрыве или разрушении покрытия может нарушаться целостность самого покрытия, т.е. его когезия. В связи с этим различают адгезионный отрыв по границе раздела покрытие–подложка и когезионный отрыв, когда разрушение происходит по покрытию. Возможен также смешанный адгезионно-когезионный отрыв покрытия.

Адгезия покрытий обуславливается, прежде всего, различными видами взаимодействий между молекулами или атомами. Эти взаимодействия приводят к образованию межмолекулярной и химической связей. Величина адгезии зависит не только от наличия, но и от числа связей между контактирующими телами. В свою очередь, число связей определяется площадью фактического контакта между покрытием и подложкой. Величина этой площади обуславливается процессом формирования покрытий и зависит от свойств поверхности подложки и покрытия. К числу таких свойств следует отнести параметры и вид шероховатости поверхности подложки; метод нанесения покрытий; процесс заполнения впадин поверхности подложки в зависимости от температурно-временных характеристик и ряд других [3].

В настоящее время существует ряд теорий, обосновывающих адгезию покрытий [4]:

– адсорбционная теория адгезии, согласно которой процесс формирования связи между покрытием и подложкой определяется адсорбцией молекул покрытия к поверхности подложки. Адсорбционные процессы имеют место в случае формирования покрытия из слоя жидкости;

– диффузионная теория, которая определяет величину адгезии в зависимости от при-

роды и числа связей, приходящихся на единицу площади контакта покрытия и подложки. Для осуществления диффузионных процессов необходимо соблюдение двух условий:

- термодинамического, которое сводится к взаимной растворимости покрытия и подложки и их совместимости;

- кинетического, которое достигается подвижностью молекул.

– микрореологическая теория (реология изучает процессы течения различных тел) [3], которая заключается в том, что в процессе формирования покрытия происходит заполнение впадин шероховатости поверхности, а также трещин и пор подложки, увеличивается площадь фактического контакта, а, следовательно, и число связей между покрытием и подложкой, что приводит к росту адгезии и адгезионной прочности. Само же адгезионное взаимодействие реализуется за счет молекулярных сил и химической связи между контактирующими поверхностями. На основании этой теории существует некоторое оптимальное время осаждения покрытия, которое соответствует времени образования покрытия в микродефектах подложки. Увеличение времени осаждения покрытия выше этого значения не оказывает существенного влияния на адгезионную прочность.

Также имеются определенные стандарты, методики и инструкции по изготовлению таких износостойких материалов.

Минимальная толщина покрытия при условии, когда ее когезионная прочность меньше адгезионной (при приложении внешних усилий разрушение происходит по покрытию) составляет единицы микрометров. При этом предельная расчетная толщина покрытия при условии равенства равновесной адгезии и величины внутренних напряжений, которые определяют возможность самопроизвольного отслаивания, составляет 0,6 мкм [2]. Таким образом, на основании этих условий оптимальная толщина покрытия не должна превышать доли микрометров, а в некоторых случаях – единицы микрометров.

На металлических поверхностях в большинстве случаев присутствует окисная плен-

ка, которая влияет на адгезионную прочность наносимого покрытия. При этом образование рыхлой окисной пленки обуславливает отсутствие адгезии. Исследования адгезионной прочности различных металлических пленок к стеклу выявили следующие закономерности. Адгезионная прочность пленок из благородных металлов (серебра, золота, платины), у которых отсутствует окисная пленка, а также пленок из цинка и алюминия, на поверхности которых находятся окислы  $ZnO$  и  $Al_2O_3$ , относительно небольшая. В то же время пленки из магния с окисной пленкой  $MgO$  и железа с окисной пленкой  $Fe_3O_4$  обладают повышенной в сотни раз адгезионной прочностью, что объясняется особенностями взаимодействия этих окислов с поверхностью стекла. При этом толщина окисной пленки на железе не должна превышать 25-30 нм, что достигается при температуре нагрева поверхности  $250^\circ C$ . Более высокая температура способствует образованию более толстой и рыхлой окисной пленки, уменьшающей адгезионные свойства.

На адгезионную прочность покрытий также оказывает влияние относительная влажность воздуха [2]. Это влияние обусловлено проникновением влаги в зазор между формирующимся покрытием и подложкой в результате адсорбции и капиллярной конденсации. Основной причиной снижения адгезии покрытий при наличии влаги на поверхности подложки является расклинивающее давление тонкого слоя жидкости в зазоре между покрытием и подложкой. Поэтому принципиально важной технологической операцией при нанесении покрытий является обезвоживание поверхности или ее предварительный подогрев. Использование вакуума при нанесении покрытий, как известно, способствует удалению влаги с поверхности изделий, что в свою очередь обуславливает сближение наносимого покрытия с подложкой и увеличение адгезии [5].

Адгезионная прочность покрытий также зависит от свойств окружающей среды, в которой формируется покрытие за счет адсорбции газов. По сравнению с воздухом в кислороде адгезионная прочность резко уве-

личивается, а в среде аргона снижается [2]. Кислород способствует росту адгезии за счет химического взаимодействия контактирующих тел, которое возникает в результате термоокисления, способствующего появлению полярных групп на поверхности подложки и увеличению адгезии за счет взаимодействия этих групп с покрытием. Таким образом, наличие окислов на поверхности подложки или покрытия и их толщина определяют адгезионную прочность покрытий. При этом большее значение приобретает температура предварительного подогрева поверхности подложки. Для стальной поверхности, например, при нанесении пленок алюминия в вакууме, максимальная адгезия достигается при температуре  $300-350^\circ C$ , для пленок титана и хрома эта температура составляет  $400-450^\circ C$ , а для пленок кадмия – не выше  $80^\circ C$ .

В большинстве случаев покрытия при их конденсационном нанесении образуются в результате затвердевания слоя жидкости на поверхности подложки [2]. Слой жидкости при этом получается при растекании и слиянии капель с последующим образованием сплошной жидкой пленки. Растеканию предшествует смачивание жидкими каплями материала покрытия поверхности подложки. Таким образом, формирование покрытия проходит три стадии: смачивание и растекание жидкости; образование площади контакта между двумя фазами; возникновение адгезионной связи.

Растекание жидкого материала покрытия способствует лишь увеличению площади фактического контакта. Только в этом смысле следует рассматривать прямую связь между коэффициентом растекания и адгезионной прочностью. Растекание зависит от времени, прошедшего после контакта капли с поверхностью, размера капли, вязкости жидкости и ее поверхностного натяжения. Таким образом, условием достаточной адгезионной прочности является смачивание поверхности подложки. С уменьшением краевого угла, т.е. с ростом смачивания, адгезионная прочность усиливается. Это объясняется увеличением площади фактического контакта на хорошо смачиваемых поверх-

ностях. Растекание и смачивание создают необходимые условия для адгезии: заполнение трещин, увеличение площади контакта и т.д., что приводит к росту числа связей и адгезии в целом. Смачивание является необходимым, но не достаточным условием формирования адгезионного взаимодействия покрытий.

### **Перспективные направления создания инновационных технологий для повышения износостойкости оборудования и деталей**

Одна из наиболее серьезных проблем технологического прогресса состоит в необходимости обеспечивать постоянное соответствие между свойствами новых материалов, применяемых в машиностроении, и все более жесткими условиями их работы. Как правило, оказывается, что хотя бы по одному из параметров эти материалы не соответствуют предъявляемым требованиям. Чаще всего наиболее слабым элементом в системе «материал-рабочая среда», определяющим допустимые условия эксплуатации и ресурс всей системы, является поверхность материала. Из этого ясно, насколько важна задача разработки методов и технологии нанесения защитных покрытий на поверхность конструктивных материалов.

Объем и поверхность любой детали следует всегда рассматривать как единую систему. Главным требованием к защищенной поверхности является то, что она должна обеспечивать существенно лучшую защиту детали в агрессивной среде, чем исходная поверхность. Система должна быть нечувствительной к условиям работы независимо от того, создается ли защитное покрытие путем модификации поверхности самой детали или же нанесением на подложку моно- или многослойного покрытия из другого материала. В любом случае нанесению покрытия предшествует определенная обработка поверхности детали одним из известных способов. Конкретная комбинация данной подложки с определенным покрытием называется системой покрытия, и в это понятие включается

также случай модификации поверхности материала.

Необходимость применения покрытий для материалов, работающих в различных условиях, вытекает из невозможности соответствующего улучшения эксплуатационных характеристик узлов и деталей даже в случае использования новых конструктивных материалов с улучшенным комплексом физических, механических и металлургических свойств. Выбор конкретной системы покрытия определяется балансом результатов и затрат, т.е. соотношением между улучшением эксплуатационных характеристик детали и стоимостью нанесения соответствующего покрытия.

Разработка научных основ по направленному изменению физико-химических свойств исходных поверхностей изделий посредством нанесения покрытий и методы нанесения покрытий относятся к приоритетным направлениям во многих развитых странах.

На сегодня проводятся исследовательские работы по:

- повышению износостойкости деталей машин и инструмента из железоуглеродистых сплавов;
- повышению эксплуатационных свойств деталей механизмов и машин с использованием методов нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий, повышающих износостойкость и термостабильность;
- изучению эффективности упрочнения поверхностей замков буровых труб;
- исследованию методов ионно-плазменного азотирования и газопламенного напыления, чтобы составить конкуренцию методу твердосплавных наплавов и т.д.

В основе повышения износостойкости и усталостной прочности деталей лежит воздействие на рабочую поверхность деталей и элементы кристаллической решетки металла путем применения различных видов обработок. Различают следующие виды повышения износостойкости:

1. Термические, термомеханические способы.
2. Электрохимические и электрофизические способы.



3. Механическое упрочнение поверхностных деталей.

4. Нанесение покрытий в вакууме.

Выше перечислены лишь некоторые методы инновационных технологий для повышения износостойкости оборудования и деталей. Разрабатываются материалы различного вида (в том числе износостойкие порошки), разные методики по нанесению износостойких материалов.

В силу времени и экологических, технологических и экономических требований современности, данное научно-исследовательское направление, в частности, методики нанесения износостойких сплавов, подлежат к стандартизации процессов нанесения.

Необходимость стандартизации процедур сварки (нанесения) появилась в связи с

введением международных и европейских стандартов системы менеджмента качества, в которых сварка считается специальным процессом, т.е. процессом, «в котором подтверждение соответствия конечной продукции затруднено» (ИСО 9000:2000). В требованиях стандарта ИСО 9001:2008 записано: «Организация должна подтверждать все процессы производства и обслуживания, результаты которых нельзя проверить посредством последовательного мониторинга или измерения, вследствие чего их недостатки становятся очевидными только после начала использования продукции или после предоставления услуги». Подробные требования к качеству сварки (наплавки) определяет серия стандартов ИСО 3834 по обеспечению качества в сварочном производстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капсаламова Ф.Р., Кенжалиев Б.К., Миронов В.Г. и др. Распределение элементов в объеме порошка системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C в зависимости от времени механохимического легирования // Комплексное использование минерального сырья. – № 2. – 2016. – С. 64-68.
2. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М., Химия, 1977. – 352 с.
3. Гуль В.Е., Вахрушина Л.А., Дворецкая Н.М. Высокомолекулярные соединения, 1976. – Т. А18. – №1. – С. 122-126.
4. Тополянский П.А. Финишное плазменное упрочнение инструмента и оснастки – итоги исследований и внедрений/ П.А. Тополянский, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков//Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 6-й Международной практической конференции-выставки 13-16 апреля 2004 г. – Санкт-Петербург: Изд. СПбГПУ. – 2004 – С. 232-257.
5. Тополянский П.А. Исследование ионно-плазменных износостойких покрытий на инструментальных сталях. Металлообработка. – 2004. – №1 (19). – С. 24-30.