

слород, влага и металл. Это стандартные естественные условия, поэтому избежать коррозии практически невозможно. Но снизить интенсивность ее развития возможно, воздействуя на коррозионную среду (инертные или защитные атмосферы, осушение атмосферы адсорбентами), на металл (легирование, термообработка, защитные покрытия, защитные смазки и др.) и конструкцию (подбор материалов, способы соединения деталей, вентиляция скрытых полостей, старение полимеров и др.) машины.

#### Список использованной литературы.

1. Андреев, И.Н. Введение в коррозиологию. – Казань, Казанского государственного технологического ун-та, 2004. – 140 с.
2. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учебное пособие – М.: Альянс, 2014. – 472 с.
3. Фомин, Г. С. Коррозия и защита от коррозии: энциклопедия международных стандартов. - Москва: Протектор, 2013. – 714 с.

УДК 331.45

## **ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Студенты – Ралюк Д.С., 21 тс, 5 курс, ФТС;*

*Ермаковч И.А., 4 тс, 4 курс, ИТФ*

*Научный руководитель – Протасевич В.А., к.т.н., доцент*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Основным направлением повышения показателей надежности технических систем является повышение износостойкости быстроизнашивающихся деталей, которое может быть достигнуто путем применения современных технологических процессов их упрочнения.

В ремонтном производстве широко применяются различные способы упрочнения, которые можно подразделить на 6 основных классов:

- упрочнение с образованием пленки на поверхности;
- с изменением химического состава поверхностного слоя;
- с изменением структуры поверхностного слоя;
- с изменением энергетического запаса поверхностного слоя;

- с изменением микрогеометрии поверхности и наклепом;
- с изменением структуры по всему объему материала.

В свою очередь, упрочнение с созданием пленки на поверхности, можно получить с помощью:

- а) химической реакции;
- б) осаждением из газовой фазы;
- в) электролитическим (электрохимическим) осаждением (нанесением);
- г) напылением.

Методы создания упрочняющих покрытий посредством осаждения в вакууме бывают физическими (PVD) и химическими (CVD). Внутри этих двух групп существует достаточно большое число способов нанесения покрытий, в том числе комбинированных или способов с поддержкой или активацией процесса от других источников энергии. Данные методы основаны на различных явлениях, но конечный результат и в том и в другом случае – осаждение из газовой фазы материала покрытия на основу. Сравнивая эти два метода, следует отметить, что основным преимуществом методов CVD является более простая технология: более простая загрузка деталей в камеру, нет необходимости в долговременной очистке, а также нет необходимости во вращении детали при нанесении покрытия. Это делает метод CVD экономически выгодным при нанесении покрытий на большие партии деталей. Данный метод практически не имеет ограничений по химическому составу покрытий. Все присутствующие частицы могут быть осаждены на поверхность материала. Какие покрытия при этом образуются, зависит от комбинации материалов и параметров процесса. Если процесс протекает при заполнении пространства реакционно – способным газом (кислородом, азотом или углеводородами), в результате химической реакции между атомами осаждаемых металлов и молекулами газа происходит нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий. В свою очередь, нанесение PVD - покрытий при помощи дугового или тлеющего разряда (магнетрона) обладает большей производительностью и не столь чувствительно к незначительным отклонениям технологических параметров.

При физическом осаждении (PVD) материал покрытия переходит из твердого состояния в газовую фазу в результате испарения под воздействием тепловой энергии или в результате распыления

за счет кинетической энергии столкновения частиц материала. PVD – процессы проводят в вакууме или в атмосфере рабочего газа при достаточно низком давлении.

Данные способы нанесения тонкопленочных покрытий широко применяются на финишных операциях упрочнения деталей. Однако они обладают существенными недостатками: высокие интегральный нагрев основы и энергоемкость.

Процесс финишного плазменного упрочнения (ФПУ) позволяет компенсировать вышеуказанные недостатки, а именно:

- нагрев изделия в процессе ФПУ (не более 100 – 150 °С) не вызывает деформации деталей;
- процесс ФПУ, проводимый на воздухе при температуре окружающей среды, не требует вакуумных или других камер и дает возможность упрочнения изделий любых размеров.

Финишное плазменное упрочнение (ФПУ) – новая технология для многократного повышения работоспособности инструмента, штампов, пресс – форм и деталей машин. Сущность ФПУ состоит в нанесении тонкопленочного (около 3 мкм) износостойкого аморфного покрытия с одновременным осуществлением процесса повторной плазменной закалки приповерхностного слоя. Покрытие является продуктом плазмохимических реакций реагентов, прошедших через дуговой плазмотрон. Закалка происходит за счет локального воздействия высококонцентрированной плазменной струи.

Существует возможность создания другого вида плазменного покрытия на рабочей поверхности плунжера. Нанесение покрытия производится на плазменной установке УФПУ – 111. Она обеспечивает нанесение покрытий на основе оксикарбонитрида кремния. Эти покрытия относятся к классу алмазоподобных и обладают высокой износостойкостью, химической инертностью и малым коэффициентом трения. Кроме того, плазменные безвакуумные тонкопленочные покрытия являются диэлектрическими. Они позволяют в несколько раз увеличить гидроплотность плунжерных пар как новых, так и восстановленных.

Перед нанесением покрытия плунжер подвергается очистке, обезжириванию и предварительному подогреву до температуры 60...80 °С для активизации частиц поверхностного слоя. Нанесение покрытия осуществляется при атмосферном давлении (на воздухе).

Анализ равномерности нанесения покрытия и его толщины осуществляется при проведении металлографических исследований микрошлифов, с помощью металлографического микроскопа.

Основным способом, повышающим качество и точность деталей прецизионных пар, является доводка поверхностей алмазными порошками и пастами. В результате доводки удаляется дефектный слой металла со следами локальных прижогов и грубыми рисками, которые образуются в процессе шлифования. Операция шлифования характеризуется высокими мгновенными температурами в зоне контакта, возникшими в результате массового скоростного микро-резания большим числом абразивных зерен. Обработка металлов шлифованием приводит к образованию на его поверхности большого количества мелких рисок и других дефектов. Последующее полирование и доводка уменьшает шероховатость поверхности и удаляет наиболее мелкие трещины. Кроме того, полирование, проводимое с небольшим съемом материала при малом внешнем усилии обработки, также создает в поверхностном слое детали, растягивающие остаточные напряжения. Таким образом, в связи с технологической наследственностью на поверхности деталей создаются остаточные напряжения растяжения, которые могут явиться причиной их износа и разрушения. Для исключения этого явления целесообразно использовать такую финишную операцию (не изменяющую геометрических характеристик изделия), которая позволила бы создать сжимающие остаточные напряжения на поверхности и тем самым обеспечила повышение усталостной прочности материала.

Таким образом, технология ФПУ позволяет формировать на поверхности плунжера топливного насоса тонкопленочное покрытие с толщиной до 3 мкм. Нанесенное покрытие обладает повышенной твердостью, химической инертностью, низким коэффициентом трения и не изменяет своих свойств до температур 1200С. Покрытие является барьерным слоем, препятствующим схватыванию при адгезионном износе плунжерных пар.

#### Список использованных источников

1. Болдин, Н. И. Диффузионное борохроммирование как метод восстановления и упрочнения деталей топливной аппаратуры дизелей : автореф. дис. канд. наук / Н. И. Болдин. – М., 1991.

2. Биргер, И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1963. – 252 с.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Серебrenицкий, П. П. Пособие для станочников. Вспомогательный режущий инструмент / П. П. Серебrenицкий. – Л. : Лениздат, 1978. – 320 с.
5. Тушинский, Л. Н. Теория и технология упрочнения металлических сплавов / Л. Н. Тушинский. – Новосибирск: Наука, 1990.
6. Антипов В. В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. – М.: Машиностроение, 1972. – 177 с.
7. Соснин, Н. А. Плазменные покрытия / Н.А. Соснин, П.А. Тополянский, Б.Л. Вичик. ДНТП, Санкт – Петербург, 1992.

УДК 331.45

## **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ**

*Студенты – Белявская А. В., 4 мс, 4 курс, ИТФ;  
Тумелевич Л.Ю., 21 тс, 5 курс, ФТС*

*Научный руководитель – Протасевич В.А., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Современная технология газотермического напыления непрерывно развивается по пути совершенствования оборудования, позволяющего получать ранее недостижимые режимы напыления, обеспечивающие создание покрытий с уникальными свойствами. Процесс высокоскоростного газопламенного напыления HVOF был изобретен в 1958 в компании: Union Carbide [1], но впервые был применен только в 1980-х годах, после того, как James Browning изобрел установку для высокоскоростного напыления, а в 1992 он запатентовал метод HVOF, как более дешевую альтернативу HVOF.[3]

Системы высокоскоростного газопламенного напыления делятся по типу оборудования на системы керосин-кислород (HVOF, High Velocity Oxygen Fuel) и системы пропан-воздух (HVOF, High Velocity Air Fuel). С помощью высокоскоростного напыления наносятся покрытия из карбидов вольфрама, хрома, никель- кобальт-