

**Изменение свойств поверхности деталей
на различных этапах формирования
вакуумных ионно-плазменных покрытий:
Сообщение 1. Неразрушающий контроль поверхностных слоев
материала. Изменение состояния поверхности
на технологическом этапе предварительной очистки**

Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина

Исследованы возможности неразрушающего контроля дефектов поверхностных слоев материала деталей с вакуумными ионно-плазменными покрытиями методом экзоэлектронной эмиссии.

Установлена взаимосвязь эмиссионных параметров с дефектностью материала, выявленная методом контактной разности потенциалов.

Исследованы изменения состояния поверхности на этапе предварительной очистки, проведен анализ ее способов и их эффективности.

Ключевые слова: вакуумные ионно-плазменные покрытия металлов, свойства поверхностных слоев, метод контактной разности потенциалов, способы предварительной очистки.

Обеспечение надежности и ресурса агрегатов авиационной техники и других отраслей промышленности во многом сопряжено с эффективностью их покрытий, особенно формируемых вакуумными ионно-плазменными методами, получившими широкое распространение в последнее время [1-2].

Проведенный анализ основных закономерностей изменения свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий элементов конструкций от технологических параметров их формирования выявил их преимущества по стабильности процесса, производительности и простоте реализации технологии.

Процесс взаимодействия активной плазмы распыляемого катода с реактивным газом и подложкой при формировании покрытия носит сложный характер и пока еще недостаточно изучен. Вследствие этого качество получаемого покрытия нестабильно. Как показал анализ причин снижения качества в серийном производстве, в основе его лежит нарушение требований к вакуумной гигиене и технологические отклонения. Однако причиной нестабильности качества покрытия также является отсутствие глубокого теоретического анализа процесса получения ионно-вакуумных покрытий и причин образования дефектов в поверхностном слое [3-4].

Проведение такого анализа в определенной степени позволит вскрыть причины образования дефектных покрытий и снизить их процент.

В основе образования дефектных покрытий лежат многие причины, в том числе [3]:

- отсутствие специализированного участка по ионно-вакуумному напылению;
- несоблюдение вакуумной гигиены;
- несоблюдение всех требований по подготовке и проведению обезжиривания поверхности;
- ошибки в выборе и несоблюдение режима ионной очистки;

– отсутствие метода контроля эффективности процессов предварительной очистки и активизации поверхности.

Поэтому на первом этапе представляется необходимым критически проанализировать работы, посвященные изучению контактной разности потенциалов (КРП), разработать установку по определению потенциала поверхности и методику его измерения.

С ростом динамичности контактных нагрузок особую роль в обеспечении работоспособности изделий играют весьма тонкие поверхностные слои материалов. Контроль свойств таких слоев с применением традиционных средств и методов затруднен. Затруднения связаны не только с малой глубиной слоев, но и с необходимостью получения информации об их энергетическом состоянии и способности аккумулировать энергию внешнего воздействия, которые определяют эксплуатационные характеристики изделий.

Одним из физических методов, пригодных для исследования и контроля энергетической стабильности поверхности металлов, является метод экзоэлектронной эмиссии. Сущность метода заключается в регистрации и анализе параметров нестационарных эмиссионных токов малой величины, которые возникают на поверхности, возбужденной деформацией, контактом материалов с активной средой [5].

Возможность использования эффекта экзоэлектронной эмиссии для исследования и контроля энергетической стабильности поверхностных слоев основана на установленной взаимосвязи эмиссионных параметров с дефектностью материалов. Эта взаимосвязь определяется общими закономерностями экзоэмиссии, среди которых основными являются:

- зависимость интенсивности и кинетики эмиссии от степени деформации и напряженного состояния образцов [6];
- влияние на кинетику эмиссии вида нагружения;
- зависимость эмиссии от температуры деформации, определяющей развитие дефектности металлов;
- изменение эмиссионной активности металлов при смене механизмов деформации и в зависимости от энергии дефектов упаковки;
- возникновения эмиссионного тока при фазовых превращениях;
- зависимость интенсивности и кинетики эмиссии от видов покрытий и напряжений, возникающих при поверхностной диффузии атомов.

Указанные закономерности свидетельствуют об участии структуры в образовании эмиссионных центров на поверхности. В настоящее время проведены прямые эксперименты, доказывающие повышенную эмиссионную активность дефектов, границ зерен, двойников, линий скольжения. Однако пока отсутствуют данные о влиянии атомов внедрения на эмиссионную активность.

Физическую основу наблюдаемых закономерностей составляют глубокие изменения в характере и интенсивности электронных процессов на поверхности под воздействием внешних или внутренних факторов [7-9]. Возникновение структурных дефектов обеспечивает начальное понижение работы выхода электрона вследствие повышения уровня Ферми. Последующие адсорбционные процессы вызывают дополнительное понижение работы выхода электрона и рост эмиссионной способности деформированного участка поверхности. В окисных слоях, присутствующих на поверхности металлов, дефекты, созданные под воздействием внешних факторов или продифундировавшие из объема, образуют центры захвата электронов, эмиссия в которых требует малой энергии активизации.

Изменение электронных процессов на поверхности является результатом аккумуляции энергии внешнего воздействия. В этой связи экзоэлектронную эмиссию можно рассматривать как комплексную характеристику, отражающую степень метастабильности поверхностных слоев материалов, что обуславливает возможность установления корреляционных связей между параметрами эмиссии и износостойкостью поверхностных слоев материалов в условиях циклических контактных напряжений.

Об интенсивности электронных процессов на поверхности металлов под воздействием внутренних и внешних факторов можно также судить и по изменению работы выхода электрона. Работа выхода электрона (РВЭ) по величине равна энергии удаления электрона из силового поля кристаллической решетки металла. Ее можно измерять различными способами: автоэлектронным, фотоэлектрическим, методом контактной разности потенциалов (КРП) и др. Метод КРП может применяться в любой среде, не внося в структуру металлической поверхности каких-либо возмущений и позволяя в широком диапазоне варьировать условия эксперимента.

Известно, что значение РВЭ материала само по себе не дает прямой информации об его химическом составе и структуре. Однако существование определенных связей РВЭ с другими свойствами материала позволяет косвенно судить об изменении его состава и свойств. Широкое применение РВЭ для контроля свойств материалов стало возможным лишь с распространением методов невакуумного измерения. При этом наиболее универсальным является метод измерений РВЭ на воздухе. Метод измерения РВЭ включен в ГОСТ 18 353-79 в качестве метода неразрушающего контроля.

Термин «работа выхода» в современном его понимании был впервые введен Лестером и определял «работу для удаления электрона из кристаллической решетки металла» [3]. В новой электронной теории металлов работа выхода электрона являлась фундаментальным понятием, которое позволяло глубже распознать свойства металлов.

Внутри решетки металла создается электрическое поле с положительным потенциалом за счет ионов, образующих решетку. Потенциал поля в грубом приближении можно считать одинаковым во всех точках металла и равным φ_0 . Свободный электрон, находящийся в таком поле, обладает отрицательной потенциальной энергией $W = -e\varphi_0$ (e – заряд электрона). Если в вакууме потенциальная энергия электрона $W = 0$, а в металле $W = -e\varphi_0$, то видно, что металл является для электрона потенциальной ямой, выход из которой требует затраты работы, называемой работой выхода.

Работа выхода измеряется обычно в электрон-вольтах, а отношение работы выхода к заряду электрона представляет собой потенциал выхода и измеряется в вольтах. Эти величины численно равны. Всякое изменение величины работы выхода связано с изменением условий на поверхности и полностью обусловлено соответствующими нарушениями равновесия в двойном поверхностном слое. В случае адсорбции разница значений работы выхода до и после адсорбции, называемая поверхностным потенциалом, непосредственно связана с дипольным моментом адсорбируемых молекул. В случае термической обработки появление или исчезновение кристаллических плоскостей, образующих структуру поверхности, или укрупнение отдельных пятен может быть точно прослежено по изменениям величины работы выхода.

Разность электрических потенциалов, возникающая благодаря электронам, проводимости в условиях термодинамического равновесия между контактирующими проводниками, называется КРП. Если два металла с разными значениями работы выхода φ привести в соприкосновение, то между ними происходит обмен электронами от металла с меньшим значением φ к металлу с большим значением φ . Обмен происходит до тех пор, пока не установится разность потенциалов, препятствующая дальнейшему переходу электронов. Условием термодинамического равновесия данной системы является равенство электрохимических потенциалов, т.е. равенство уровней Ферми. Значения КРП равны разности значений φ контактирующих металлов.

По значению КРП металлы располагаются в так называемом ряде Вольта: каждый металл данного ряда при контакте с одним из последующих заряжается положительно. Значения КРП зависят от температуры, поверхностного уровня энергии, слоя различных веществ на поверхности, адсорбированных газов, изменения уровня Ферми в результате химических и структурных изменений. Поэтому метод КРП можно применять для изучения природы адсорбции различных веществ на поверхности твердого тела; исследования механизма окисления; коррозионных процессов; определения антифрикционных свойств конструкционных материалов, смазывающих и адгезионных способностей различных веществ, а также для выявления свойств масел и смазок в процессе их эксплуатации.

Исходя из анализа принципов работы приборов по замеру КРП можно заключить, что наиболее перспективными по использованию в лабораторных условиях в производстве для экспресс-контроля состояния поверхности являются устройства, разработанные на основе изменения КРП с помощью статического конденсатора.

На основании анализа применяемых схем устройств по замеру поверхностного потенциала с учетом их недостатков была разработана новая схема устройства: анализатор состояния поверхности – модернизированный, компьютерный (АСП – МК).

Прибор АСП состоит из измерительного датчика, платы сбора данных АЦП, монтируемой в свободный слот ISA системного блока компьютера (рис. 1). Электронная схема измерения величины поверхностного потенциала размещается в корпусе датчика, имеющего тройную защиту от воздействия внешнего возбуждения.

Питание датчика ± 15 В осуществляется от платы сбора данных (модель 2), что создавало некоторые трудности при его действии, а также не исключало возможности внешнего влияния на качество записи измеряемой величины поверхностного потенциала. При переходе к третьей модели устройства был выполнена схема питания датчика первичным напряжением +5 В, снимаемым с выхода платы АЦП. Усиление напряжения до уровня рабочих ± 15 В осуществляется в самом измерительном датчике, что повысило качество и надежность проводимых измерений.

Функциональная схема измерения КРП выглядит следующим образом: с понижающего адаптера питание подается на электронный блок датчика; после замера полученный сигнал идет на плату АЦП, встроенную в системный блок компьютера; обработанный сигнал в графическом виде поступает на монитор. Величина поверхностного потенциала $\Delta\varphi$ определяется экстремальной точкой гра-

фика и для различных металлов имеет свое определенное значение и область расположения на координатной сетке.

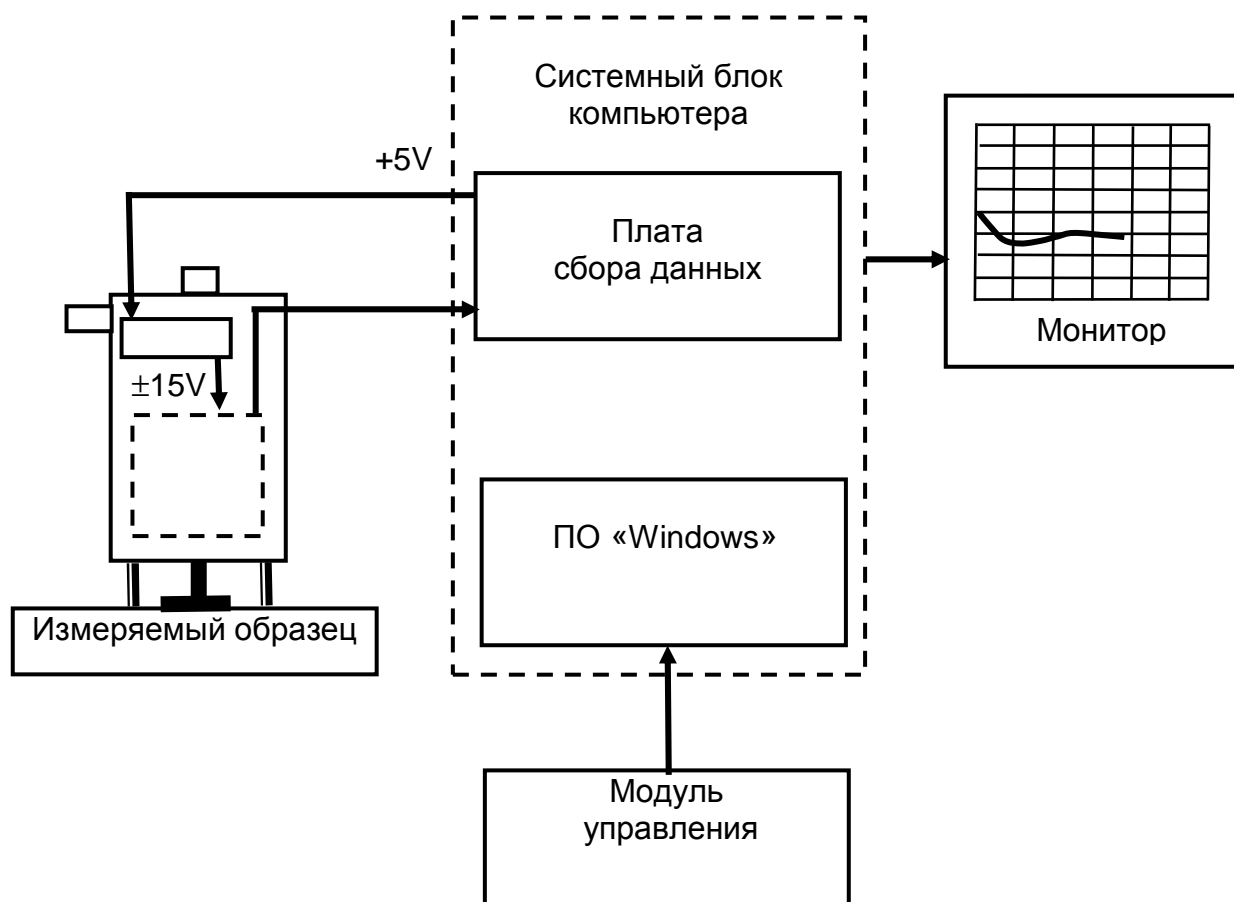


Рисунок 1 – Блок-схема прибора для измерения поверхностного потенциала

Рассмотрим изменения состояния поверхности на технологическом этапе предварительной очистки [10-13].

Свойства поверхности можно разделить на первичные и вторичные. К первичным относятся состав поверхности, ее атомная и электронная структура, движение поверхностных атомов, природа и распределение поверхностных дефектов, топография поверхности. Вторичные свойства являются производными от первичных и характеризуют процессы, происходящие на поверхности. К ним относятся: электрические, магнитные, оптические, адгезионные и каталитические свойства, износостойкость, коррозионная стойкость, смазываемость и реакционная способность. Определение взаимосвязи первичных и вторичных свойств – ключ к получению конкретных практических результатов в технологических целях. Эту взаимосвязь можно установить с помощью исследований изменения поверхностного потенциала. Как уже отмечалось, поверхностный потенциал, измеряемый методом КРП, чрезвычайно чувствителен к состоянию поверхности.

Кристаллическая и электронная структуры твердого тела формируют уровень Ферми и потенциальный барьер. Вследствие этого каждому материалу свойствен свой исходный потенциал.

Введение легирующих элементов изменяет структуру твердого тела, что приводит к изменению потенциала поверхности. Растворение в металле газов также сказывается на изменении потенциала. При растворении кислорода, азота (электроотрицательные элементы) потенциал увеличивается, а при растворении водорода (электроположительный элемент) потенциал уменьшается.

Структуры реальных металлов весьма разнообразны и, как правило, содержат большое количество дефектов и несовершенств, определяющих степень подвижности электронов, фазовый состав – это, прежде всего, различие кристаллической и электронной структур, а также, особенно для сталей, наличие фазовых напряжений. Вследствие этого поверхностный потенциал реальных металлов может существенно меняться в зависимости от структуры и фазового состава. Остаточные напряжения, вызванные энергетическим воздействием на металл, увеличивают энергию электронов и, следовательно, уменьшают потенциал.

Большое влияние на потенциал оказывают мономолекулярные слои, адсорбированные поверхностью твердого тела.

При наличии на поверхности одноатомного слоя щелочных металлов потенциал поверхности уменьшается, так как на поверхности возникает двойной электрический слой, внешняя обкладка которого заряжена положительно. Разность потенциалов между обкладками этого слоя уменьшает потенциал выхода электрона из основного металла.

При адсорбции атомов кислорода на поверхности металла образуется отрицательно заряженный ион кислорода. В результате этого верхняя обкладка двойного электрического слоя заряжается отрицательно, вследствие чего электрическое поле тормозит выход электронов из металла и потенциал выхода увеличивается. Если технологическое воздействие приведет к структурному, фазовому, энергетическому изменению поверхности, то оно вызовет и изменение его потенциала.

Механическая обработка, упрочняющая поверхностная обработка приводят к изменениям поверхностного потенциала, так как они изменяют поверхностную структуру, ее энергетическое состояние. Любое энергетическое воздействие на поверхность металла изменяет кинетическую энергию электронов и, следовательно, изменяет потенциал выхода электрона. Такой же эффект вызывает и термическая обработка, так как при этом происходит изменение фазового состояния, структурные и энергетические (фазовый наклеп, термические напряжения) изменения. Какой из этих факторов является основным в процессе изменения потенциала при термической обработке, необходимо определить для каждого конкретного случая.

Процессы анодирования и нанесения защитного покрытия совершенно изменяют поверхностный потенциал исходного материала, придавая ему новые значения, соответствующие той структуре, которая в данный момент находится на поверхности. Вследствие этого можно контролировать процессы образования защитных покрытий и оптимизировать их эксплуатационные характеристики. Исследуя процесс стабильности потенциала покрытия в период эксплуатации, можно прогнозировать его работоспособность по состоянию и контролировать процесс восстановления свойств [7-13].

Таким же образом можно контролировать и процесс травления поверхности, поскольку в большинстве случаев этот процесс предназначен для удаления окислов с поверхности материала, о полноте которого можно судить по восстановлению поверхностного потенциала. В процессе эксплуатации поверхностные

слои металла или защитных покрытий под действием внешних факторов претерпевают значительные изменения, которые могут выражаться в фазовых, структурных или энергетических изменениях поверхности. Такие изменения монослоев поверхности приводят к изменению потенциала, по величине которых можно судить о нарушении работоспособности поверхности.

Для выработки критериев оценки качества и работоспособности поверхности металлов, защитных и специальных покрытий необходим статистический набор информации о них, анализ и построение номограммы надежности работы этих покрытий от условий в зависимости от эксплуатации. Для ионно-вакуумных покрытий первая область исследований изменения поверхностного потенциала – это оценка степени адекватности свойств исходной поверхности и степени ее обезжиривания.

Рассмотрим структуру поверхностного слоя. В производственных условиях под воздействием различных видов поверхностной обработки формируется поверхностный слой, характерный для каждого вида обработки. Характерными являются также формируемые оксидные и адсорбционные слои, однако в общем виде структура технологически чистого поверхностного слоя металлического твердого тела может быть представлена в следующем порядке:

1 – адсорбированный слой; содержит адсорбированные газы (например, хемосорбированный кислород), воду и неорганические и органические вещества (например, пленка жира или соединений, образовавшихся из обезжиривающих и очистительных средств); на технически чистых поверхностях металлов он обычно имеет толщину от 1 до 10 нм. Суммарная масса поверхностных (загрязняющих) веществ колеблется в пределах 0,1...1 г/м²;

2 – оксидный слой; в зависимости от предыстории образца этот слой может иметь толщину от 1 до 10 нм и гораздо более;

3 – внутренний граничный слой, имеющий нарушения кристаллической решетки и структуры, вызванные предшествующей обработкой;

4 – основной металл.

Учитывая то обстоятельство, что наличие поверхностных слоев решающим образом может влиять на качество потенциала, можно сделать вывод о необходимости тщательной подготовки поверхности.

Загрязнениями, которые находятся на металлических поверхностях, могут быть:

– органические остатки от предшествующих рабочих операций или подготовительной обработки, например, твердые углеводороды, жирные кислоты, жирные спирты, масла, пластические смазки, остатки полировальных паст или консервирующих смазок, а также остатки от обработки растворителями;

– минеральные и металлические частицы от шлифовальных или полировальных средств, а также пыль из атмосферы, следы коррозии от потных рук в сочетании с салом и другими жирами, имеющимися на коже рук и нерастворимыми в воде;

– соединения, образующиеся в результате реакции с металлической поверхностью во время обработки или пребывания в атмосфере, например, оксиды, сульфиды и др.

Качество покрытия, его сплошность, макропористость в большой степени определяется первой стадией технологического процесса – стадией очистки поверхности. Полнота очистки поверхности в большей степени зависит от правильности выбора способа очистки. Так, термическая окалина, продукты коррозии,

сульфидные или оксидные пленки довольно часто связаны с ним силами химического сродства и удаляются травлением. Загрязнения в виде жиров, консервирующих смазок, остатков полировочных паст, абразивов, охлаждающих эмульсий связаны с металлом адгезионными силами и удаляются в процессе обезжиривания путем разрушения адгезионных связей.

Проведенные исследования показали [4-7,14], что свойства поверхности, оцениваемые энергетической характеристикой – приведенной работой выхода электрона $\Delta\phi$, изменяются в зависимости от загрязнения поверхности и способа очистки (рис. 2).

Так, приведенный поверхностный потенциал $\Delta\phi$ стали 30ХГСА после предварительного вакуумного отжига равен -200 эВ, а стали 11Х11Н2В2МФ -100 эВ (рис. 2, а). Наличие на поверхности различных видов загрязнений приводит к изменению величины $\Delta\phi$. Наиболее значительное увеличение величины $\Delta\phi$ происходит при нанесении на поверхность животного жира, так как это приводит к образованию дополнительного диэлектрического барьерного слоя (рис. 2, а). Последующая обработка ацетоном несколько уменьшает жировой барьерный слой, однако значение $\Delta\phi$ не возвращается в исходное состояние.

Применение ультразвукового химического обезжиривания (ТР 1.4.1580-66) обеспечивает высокое качество очистки поверхности (рис. 2, б).

Происходит не только удаление жирового слоя, но и активизация поверхности.

В последнее время для очистки поверхности, особенно при ионно-вакуумной обработке, применяют ионную очистку газом. Проведенные нами исследования показали высокую эффективность такой очистки. При этом происходит не только полное удаление загрязнения, но и значительная активация поверхности, величина $\Delta\phi$ изменяется до -250 эВ. Меньшая активация поверхности наблюдается при очистке в расплаве солей КОН и NaOH при температуре процесса 400...430° С ($\Delta\phi = -100...-150$ эВ).

Исходя из анализа экспериментальных данных видно, что органические растворители малоэффективны для этих сталей при ионно-вакуумной обработке, так как основное требование подготовки поверхности – полное удаление загрязнения. Наиболее перспективный способ очистки поверхности – это ионная очистка газом, но, к сожалению, серийно выпускаемые установки типа «Булат» лишены модулей ионной очистки. Заслуживает внимания также ультразвуковой способ подготовки поверхности и обработка в расплаве солей.

Активация поверхности, создание более благоприятной структуры для последующего нанесения покрытия наблюдается вследствие применения алмазного выглаживания как финишного вида обработки. Создание на поверхности заданного уровня сжимающих напряжений способствует более полному удалению загрязнений вследствие уменьшения величины шероховатости и приводит к дальнейшему равномерному распределению опорного потенциала на поверхности.

Большое влияние на качество покрытия оказывает животный жир, поэтому в процессе подготовки деталей к напылению и загрузки в камеру необходимо полностью исключить контакт обрабатываемых поверхностей с кожей рук. Лучше всего это можно сделать с помощью резиновых перчаток или пинцета. Наиболее полная очистка поверхности наблюдается при ультразвуковой обработке с применением поверхностно-активных веществ. Особенно благоприятны те растворы, в которых происходит микроподтравливание дефектного поверхностного слоя.

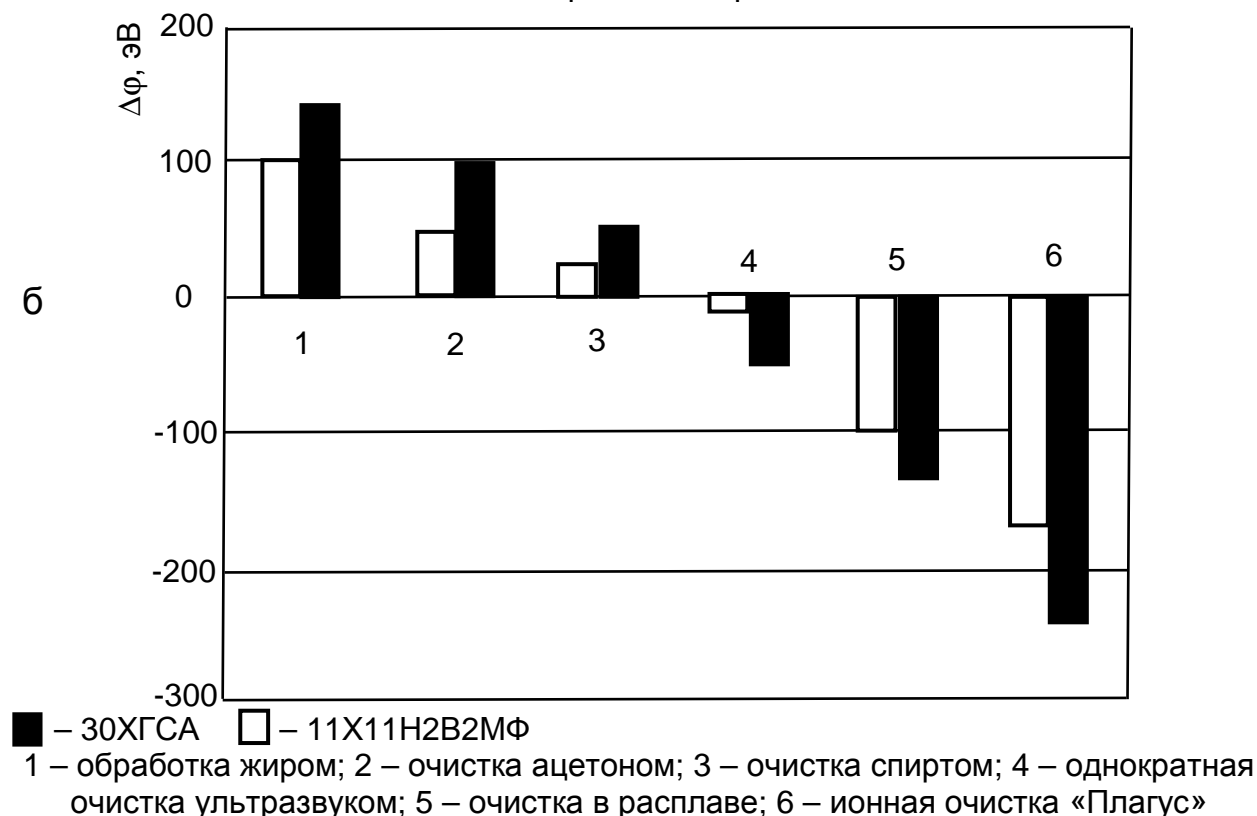
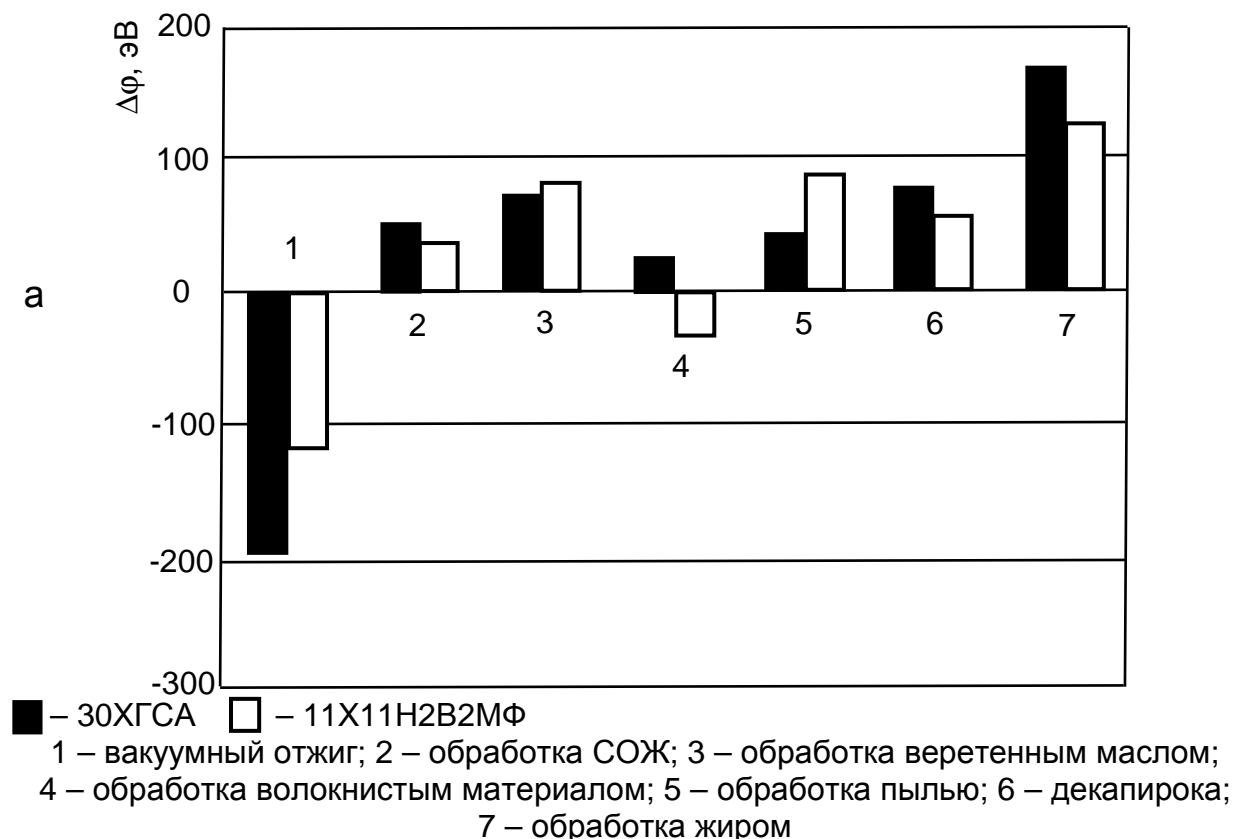


Рисунок 2 – Изменение поверхностного потенциала сталей при различных технологических воздействиях: а – воздействие цеховых загрязнений; б – воздействие различных способов очистки

В этом случае происходит два процесса: удаление загрязненного слоя и исправление микроструктуры поверхности. Однако при этом необходимо помнить о полноте последующей промывки поверхности. Остатки обезжиривающих растворов в виде разводов – очаг последующего дефекта.

Осушку после промывки желательно вести химическим способом, чтобы исключить контакт с кислородом воздуха в процессе высыхания тонкой водной пленки. Процесс обезжиривания, особенно ультразвукового, приводит к активизации поверхности, что может вызывать появление очагов коррозии, особенно на границе зерен.

Ни в коем случае нельзя допускать протирку поверхности салфеткой, так как это вызовет появление ворсинок на пиках микронеровностей, что инициирует последующие микродуги.

Как видно, процесс обезжиривания сложен своими требованиями к идеально чистой поверхности. Вследствие этого велики требования и к чистоте помещения. Получаемая в процессе обезжиривания чистая поверхность очень активна, потенциал поверхности $\Delta\varphi$ лежит в отрицательной области -20...-50 эВ, поэтому процессы адсорбции идут очень активно. Наличие запыленности в помещении сразу приводит к осаждению пыли на подготовленную поверхность, и результативность очистки резко снижается. Чтобы устранить отмеченные недостатки, необходимо проводить очистку поверхности в рабочей камере с помощью ионного потока газов [15-17]. Ионная газовая очистка полностью удаляет загрязнение с поверхности, при этом активность поверхности по сравнению с ультразвуковой увеличивается вдвое (рис. 2, б).

Необходимо отметить еще один способ очистки поверхности в расплавах смесей КОН и NaOH при температуре процесса 400° С. Этот процесс обеспечивает высокое качество обезжиривания, а также создает активную поверхность за счет специальных окисных пленок с ионной проводимостью.

Контроль качества очистки поверхностей деталей можно осуществить методом смачиваемости водой, а также использовать метод КРП (контактной разности потенциалов) на образцах, находящихся вместе с деталями. Предварительно образец с исходными значениями потенциала покрывают жиром, и определяется потенциал $\Delta\varphi_{\text{заж}}$ после чего при очистке определяется степень восстановления исходного потенциала. Очистка считается полной, когда получается потенциал, равный исходному.

Следующий этап подготовки происходит в вакуумной камере, в процессе тлеющего разряда и ионной бомбардировки.

Выводы

1. В рамках анализа изменения свойств поверхности деталей с вакуумными ионно-плазменными покрытиями на первых этапах их формирования исследованы возможности неразрушающего контроля дефектов поверхностных слоев материала методом экзоэлектронной эмиссии, в результате которого установлена взаимосвязь эмиссионных параметров с дефектностью материала, выявленная методом контактной разности потенциалов (КРП) предложенным прибором для измерения поверхностного потенциала.

2. Исследованы изменения состояния поверхности на технологическом этапе ее предварительной очистки, показавшие зависимость загрязнения поверхности и способа ее очистки от энергетической характеристики – приведенной работы выхода электрона $\Delta\phi$.

3. Дан анализ способов предварительной очистки поверхности материала и их эффективности.

Список литературы

1. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідний посібник / під заг. ред. В.В.Панасюка. – Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій [Текст] / О. П. Осташ, В. Н.Федірко, В. М. Учанін та ін. – Львів: Сполом, 2007. – 1068 с.

2. Конструкционные материалы в самолетостроении [Текст] / А. Г. Моляр, А.А. Коцюба, А.С. Бычков и др. – К.: КВИЦ, 2015 – 400 с.

3. Бабад-Захряпин, А. А. Дефекты покрытий [Текст] / А. А. Бабад-Захряпин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 152 с.

4. Петров, Л. М. Контроль качества покрытий, наносимых методом ВИПТ [Текст] / Л. М. Петров, С. Я. Бецофен, И. В. Милосердов // Тез. докл. координац. совета «Разработка оборудования и технологических процессов многофункциональных вакуумных ионно-плазменных покрытий на металлические поверхности». – М.: НИАТ, 1990. – С. 8.

5. Петров, Л. М. Некоторые аспекты поверхностных энергетических процессов, протекающих на катоде электродугового разряда вакуумных установок [Текст] / Л. М. Петров, А. Ю. Лантух // Сб. науч. трудов «МАТИ-60 лет». – Вып. 3(75). – М.: Латмэс, 2000. – С. 5 – 8.

6. Исследование кинетики окисления титанового сплава ТС-6 [Текст] / Л. М. Петров, С. И. Чертов, А. А. Ильин и др. // Сб. тез. научно-техн. конф. молодых ученых и специалистов. – М., 1983. – С. 100.

7. Моляр, А. Г. Исследование методов очистки деталей под вакуумную обработку [Текст] / А. Г. Моляр, В. Н. Мних, Д. А. Ткаченко // Тез. докл. отраслевой конф. «Прогрессивные технологические процессы и оборудование для термообработки». – Тбилиси, 1988. – С.11.

8. Петров, Л. М. Формирование композиционных износостойких покрытий: состав, технология, состояние поверхности, структура [Текст] / Л. М. Петров, С. Я. Бецофен, В. В. Дервук // Научные труды МАТИ. – Вып. 1(73). – М.: Латмэс, 2000. – С. 67 – 71.

9. Петров, Л. М. Многослойные коррозионно-износостойкие ионно-вакуумные покрытия [Текст] / Л. М. Петров, А. Г. Моляр, А. А. Ильин // Тез. докл. координационного совета «Разработка оборудования и технологических процессов многофункциональных вакуумных ионно-плазменных покрытий на металлические поверхности». – М.: НИАТ, 1990. – С. 9.

10. Бецофен, С. Я. Формирование структуры многослойных ионно-вакуумных покрытий [Текст] / С. Я. Бецофен, Л. М. Петров, Р. Н. Роняк // Тез. докл. межотраслевой науч. конф. «Покрытия, упрочнение, очистка. Экологически безопасные технологии и оборудование». – М., 1995. – С. 43.

11. Изменение поверхностного потенциала титановых сплавов в процессе технологических нагревов [Текст] / Л. М. Петров, С. И. Чертов, А. А. Ильин и др. // Тез. докл. конф. «Современные металлические материалы и прогрессивные способы их получения и обработки». – М., 1985. – С. 20.

12. Волин, Э. М. Ионно-плазменные методы получения износостойких покрытий [Текст] / Э. М. Волин. – М.: Наука, 1984. – 200 с.

13. Структура и свойства ионно-плазменных покрытий [Текст] / С. Я. Бецофен, Л. М. Петров, Э. М. Лазарев и др. // Известия АН СССР. Металлы. – 1990, №3. – С. 158 – 165.

14. Уськова, Н. А. Исследование факторов, формирующих межфазную структуру срастания, обуславливающую микромеханизм адгезии к основе [Текст] / Н.А. Уськова, А.Г. Моляр, Л.Н. Грицишина // Сб. трудов третьей междунар. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий». 13 – 17 сентября 2004 г. – Кацивели, Автономная республика Крым, Украина. – С. 106 – 107.

15. Блок подготовки поверхности для напыления металлов и их соединений на металлы, диэлектрики и пластинки [Текст] / В. П. Борзенко, О. С. Волков, С. Н. Дрожжин и др. // Тез. докл. межотраслевой конф. «Экологически чистая вакуумная технология – процессы, оборудование, свойства, методы контроля, области применения». – М.: НИАТ, 1993. – С. 21.

16. Петров, Л. М. Современные тенденции развития оборудования для ионно-вакуумного напыления [Текст] / Л. М. Петров, И. В. Милосердов // Тез. докл. межотраслевой науч. конф. «Покрытия, упрочнение, очистка, экологически безопасные технологии и оборудование». – М., 1995. – с. 4.

17. Милосердов, И. В. Подготовка поверхности для нанесения металлов и их соединений на металлы, диэлектрики и пластмассы [Текст] / И. В. Милосердов, Л. М. Петров, В. В. Дервук // Тез. докл. межотраслевой науч. конф. «Покрытия, упрочнение, очистка. Экологически безопасные технологии и оборудование». – М., 1995. – С. 46.

Поступила в редакцию 09.09.2016.

Зміна властивостей поверхні деталей на різних етапах формування вакуумних іонно-плазмових покриттів.

Повідомлення 1. Неруйнівний контроль поверхневих шарів матеріалу. Зміна стану поверхні на технологічному етапі попереднього очищення

Досліджено можливості неруйнівного контролю дефектів поверхневих шарів матеріалу деталей з вакуумними іонно-плазмовими покриттями методом екзоелектронної емісії. Встановлено взаємозв'язок емісійних параметрів з дефектністю

матеріалу, що було виявлено методом контактної різниці потенціалів. Досліджено зміни стану поверхні на етапі попереднього очищення, проведено аналіз її способів та їх ефективності.

Ключові слова: вакуумні іонно-плазмові покриття металів, властивості поверхневих шарів, метод контактної різниці потенціалів, способи попереднього очищення.

Changing of Properties of Details Surface on Various Stages of Formation of the Vacuum Ion-Plasma Coatings.

Report 1. Non-destructive testing of the surface layers of the material. Changing of surface state on the the technological stage of pre-treatment

The possibilities of non-destructive testing of defects of the surface layers of the material of parts with vacuum ion-plasma coatings by method of exoelectronic emission are researched. The relationship of emission parameters with defects in the material identified by the contact potential difference is established. The changes in the state of the surface on the stage of pre-treatment, the analysis of its methods and their effectiveness are investigated.

Keywords: vacuum ion-plasma coating of metals, properties of the surface layers, the contact potentials difference method, the method of pre-treatment.

Сведения об авторах

Бычков Андрей Сергеевич – канд. юрид. наук, нач. отдела, Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины, г. Киев, Украина.