

Изменение свойств поверхности деталей на различных этапах формирования

вакуумных ионно-плазменных покрытий.

Сообщение 2. Очистка в тлеющем разряде и при ионной бомбардировке поверхности. Свойства оксидов при технологическом нагреве

Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина

Установлены характер и особенности изменения свойств поверхности деталей на этапе их очистки в тлеющем разряде и при ионной бомбардировке плазмой различных металлов, вскрыты причины возможных отклонений структуры поверхности и приведены способы стабилизации свойств.

Установлено, что эффективность процесса очистки поверхности путем бомбардировки ионами металлов зависит от их энергии и плотности потока.

Проведен анализ изменения свойств оксидов при технологическом нагреве и сформулированы основные требования к оксиду легирующего элемента, обеспечивающие способность предохранить основной металл от окисления.

Ключевые слова: вакуумные ионно-плазменные покрытия, очистка в тлеющем разряде, ионная бомбардировка плазмой, требования к оксиду легирующего элемента.

В [1] был проведен анализ основных закономерностей изменения свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий элементов конструкций в зависимости от технологических параметров их формирования. Показаны преимущества создания поверхностного упрочнения деталей вакуумными ионно-плазменными методами: магнетронно-ионного распыления и конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ); синтезированы схемы формирования эксплуатационных свойств ионно-плазменных покрытий различного функционального назначения в процессе их формирования с заданным уровнем эксплуатационных свойств.

Также исследованы возможности неразрушающего контроля дефектов поверхностных слоев материала деталей с вакуумными ионно-плазменными покрытиями методом экзотермической эмиссии. Установлена взаимосвязь эмиссионных параметров с дефектностью материала, выявленная методом контактной разности потенциалов. Исследованы также изменения состояния поверхности на этапе предварительной очистки, ее способов и эффективности. Ниже проведен анализ изменения свойств поверхности на этапе очистки в тлеющем разряде и ионной бомбардировки.

Окончательная обработка напыляемой поверхности на этапе очистки и активации поверхности проводится ускоренными ионами плазмы тлеющего разряда и ионами напыляемого материала, ускоренными до энергии выше 1000 эВ (выше порога конденсации). Но подобная методика очистки и активации обладает рядом существенных недостатков: трудоемка, имеет невысокую степень очистки, что является причиной газовыделения в вакууме и образования микродуг при нанесении покрытий методом КИБ, неэкономична. Загрязнения, которые остаются после предварительной подготовки поверхности в порах, микротрещинах и других участках поверхности, служат инициаторами микродуг, возникающих из-за наличия высоких напряжений при ионной бомбардировке и в тлеющем разряде. Полностью избежать возникновения микродуг, как правило, не удастся даже при достаточно медленном

подъеме напряжения и длительной обработке в тлеющем разряде, что ведет к появлению брака из-за выгорания режущих кромок инструмента и порчи полированных поверхностей.

В рабочем газе (ионизация 1%) и плотность тока $10^{-5} \dots 10^{-2} \text{ А/см}^2$) в целях повышения производительности и качества подготовки детали необходимо повысить плотность тока ионов на обрабатываемую поверхность. Реализуемый в промышленных установках тлеющий разряд имеет очень невысокую степень использования.

Существенно повысить оба параметра можно наложением магнитного поля, перпендикулярного электрическому, или использованием тлеющего разряда в высокочастотном поле. Степень ионизации при этом может достигать практически 100% и плотность тока до $0,5 \text{ А/см}^2$, чего вполне достаточно для эффективной и быстрой очистки. Однако остается основной недостаток тлеющего разряда – необходимость прикладывать высокие напряжения к обрабатываемым изделиям. При этом велик риск возникновения микродуг.

Исследования изменения величины поверхностного потенциала и микротвердости стали 11Х11Н2В2МФ при обработке в тлеющем разряде показали, что после воздействия ускоренного ионного потока потенциал поверхности существенно меняется (рис. 1). Если в исходном состоянии диапазон значений потенциала колебался от 280 до 440 мВ, то после воздействия плазмы тлеющего разряда диапазон изменения значений $\Delta\phi$ составил от 40 до 80 мВ, т.е., за счет удаления загрязнений значение поверхностного потенциала выровнялось. При этом значение микротвердости практически не изменилось.

Ионную бомбардировку (ионное травление) проводят в целях активизации поверхности, удаления адсорбированных слоев, заживления поверхностных дефектов, выравнивания поверхностной структуры. Активная плазма распыляемого катода, обладая высокой энергией (ускоряющее напряжение $-600 \dots -1000 \text{ В}$), при взаимодействии с поверхностью нагревает ее до высоких температур.

При этом атомные поверхностные слои глубиной $\sim (1 \dots 60) \text{ нм}$ в момент контакта плазмы нагреваются до температур, превышающих 1000°C , что приводит к испарению верхнего атомного слоя с адсорбированными элементами. Однако необходимо учитывать, что активная плазма неоднородна по плотности, вследствие чего воздействие ее на поверхность неодинаково. На рис. 2 и 3 показано, что энергетическое воздействие плазмы более интенсивно наблюдается по центру катода, чем по его периферийной зоне. Поэтому с помощью магнитных катушек необходимо так сформировать плазменный поток, чтобы его воздействие на поверхность было более равномерное, и разность между центром и периферией не превышала 1,5 % (рис. 4 и 5).

Дефекты покрытия формируются на стадии ионной бомбардировки. Если цель ионной бомбардировки полностью выполнена на 100 % обрабатываемой поверхности, то последующее покрытие будет качественным по всей поверхности. Если после ионной бомбардировки какой-то процент поверхности остался не обработанным плазмой, то на этой площади будет некачественное покрытие – дефект.

Рассмотрим причины возможных отклонений структуры поверхности при ионной бомбардировке. Одной из причин является вторичное загрязнение поверхности после очистки. В результате этого ее поверхностный потенциал меняется. Как показано на рис. 6, различные виды загрязнений по-разному влияют на величину поверхностного потенциала покрытия.

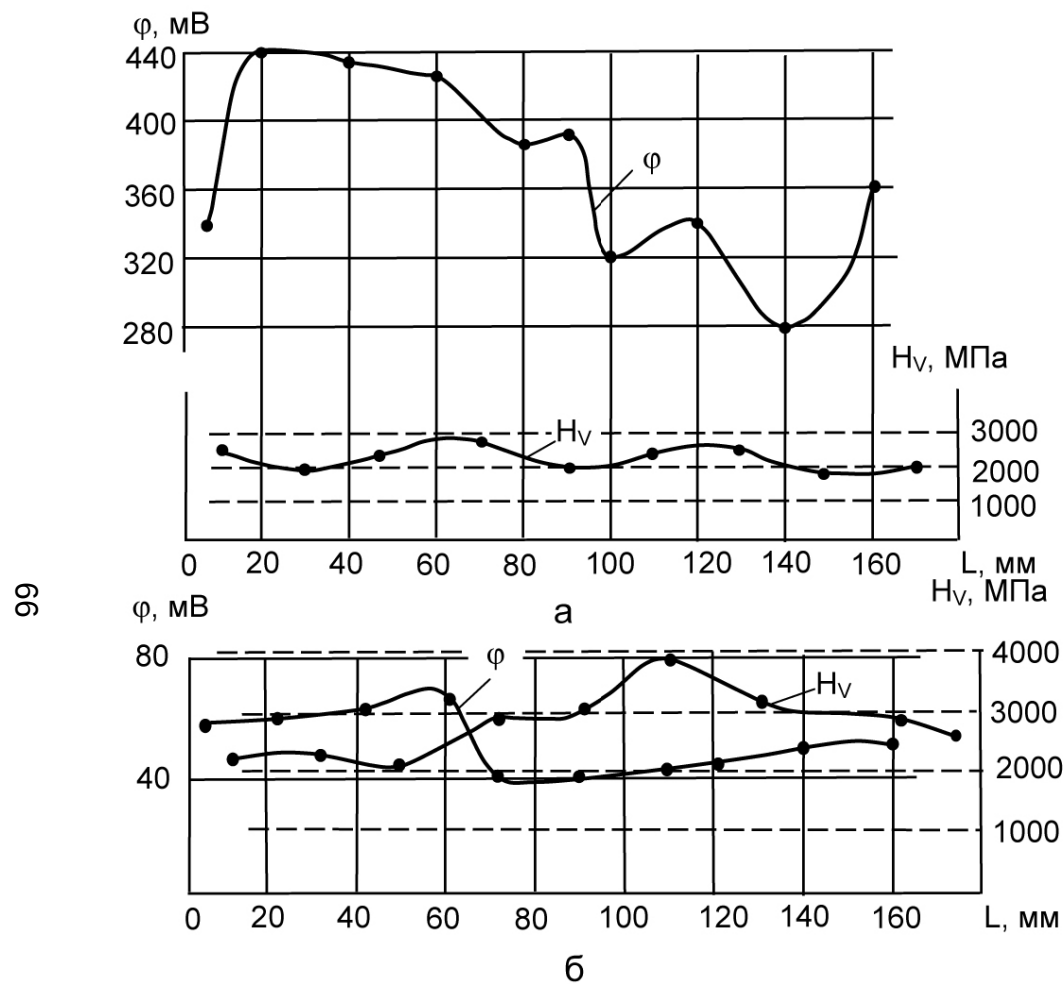


Рис. 1. Изменение поверхностного потенциала и микротвердости стали 11X11H2B2MФ:
а – исходное состояние; б – после воздействия
тлеющего заряда

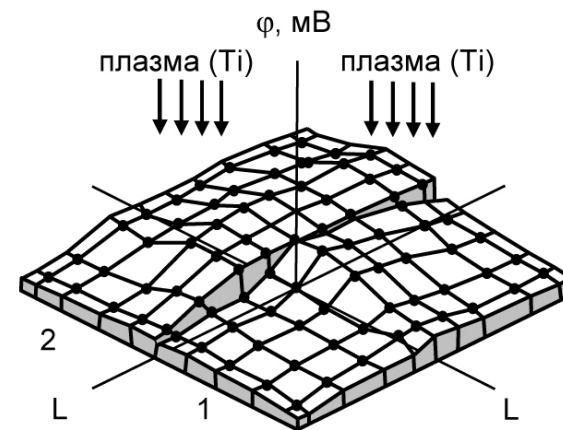


Рис. 2. Топограмма воздействия плазмы Ti при ионной бомбардировке ($\tau=5$ мин; $T=300^\circ\text{C}$; база 120 мм): 1 – шлифованная поверхность; 2 – полированная поверхность

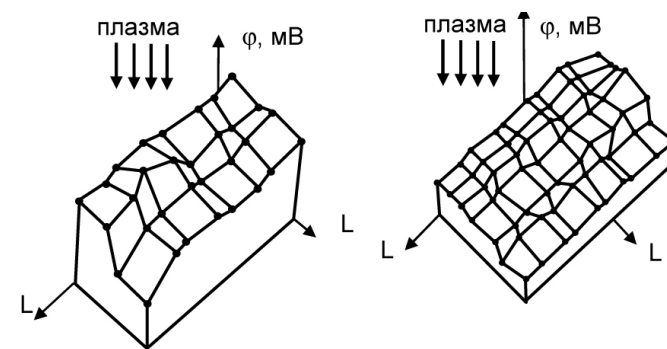


Рис. 3. Топограмма изменения поверхностного потенциала стали 11X11H2B2MФ после воздействия ионной плазмой ($U=500\text{В}$; $\tau=5$ мин; $T=300^\circ\text{C}$):
а – плазма Al; б – плазма Zr

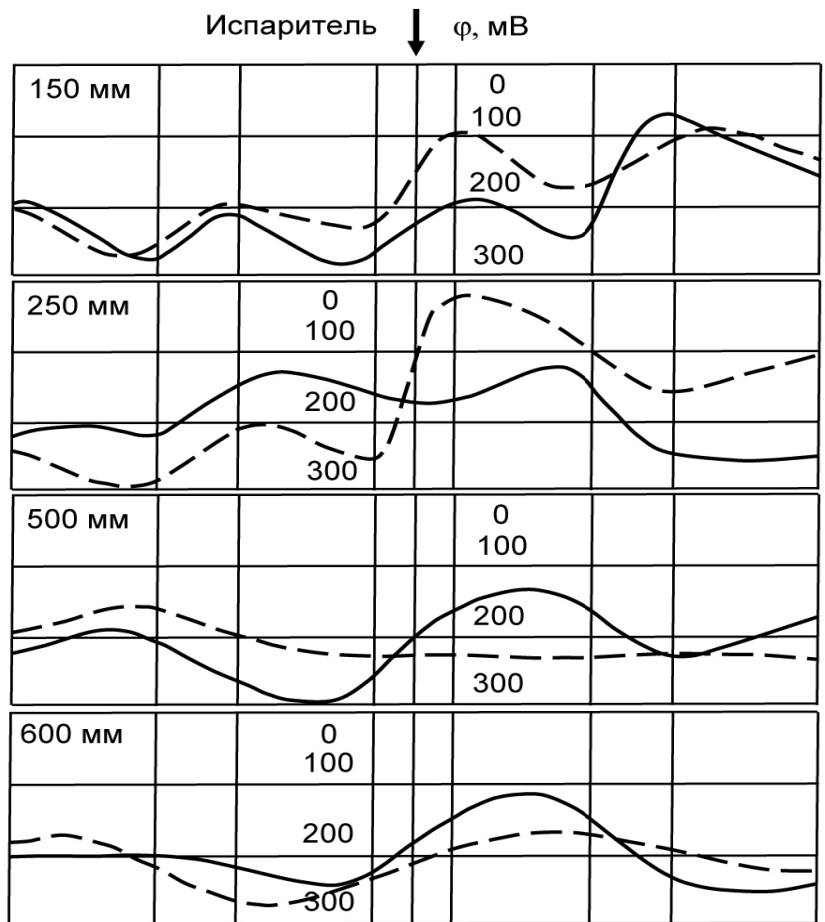


Рис. 4. Изменение поверхностного потенциала стали 11X11H2B2MФ при ионной бомбардировке плазмой Ti (для различных расстояний от испарителя): $\tau=5$ мин; $U=-500$ В

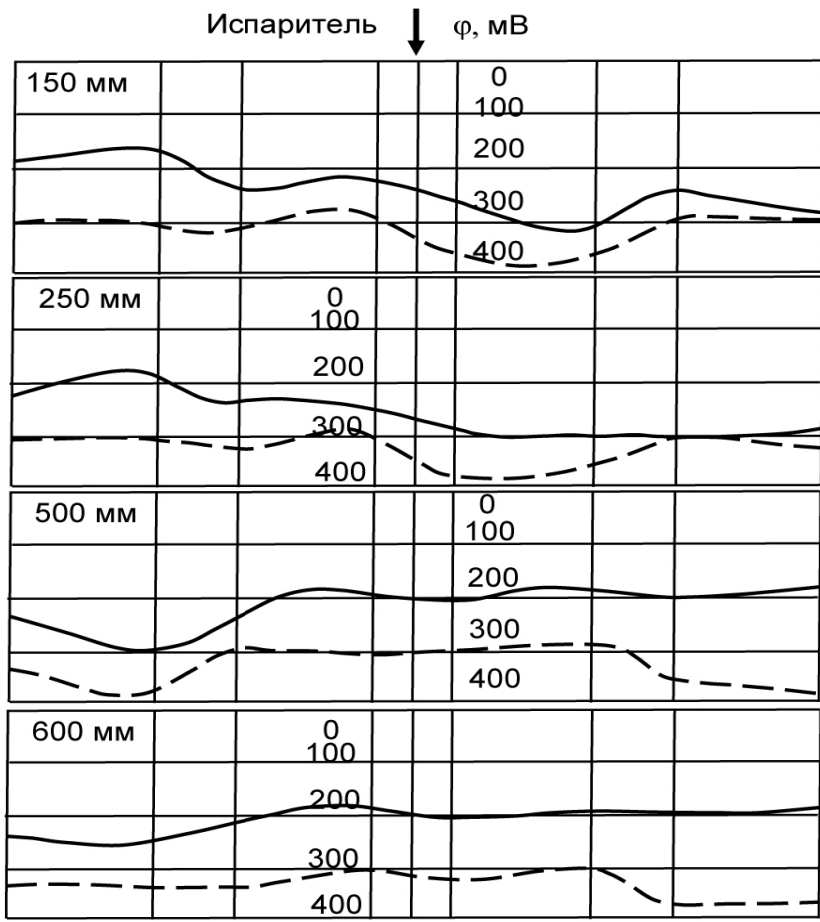


Рис. 5. Изменение поверхностного потенциала стали 11X11H2B2MФ при ионной бомбардировке плазмой Zr (для различных расстояний от испарителя): $\tau=5$ мин; $U=-500$ В

В процессе подачи ускоряющего отрицательного потенциала на подложку (-600...-1000 В) эти изменения поверхностной энергии будут сказываться на взаимодействии ее с активной плазмой. Наличие жирового диэлектрического слоя приводит к уменьшению активности воздействия плазмы, поэтому в данном месте будет наблюдаться уменьшение ускоряющего напряжения. При последующем нагреве до 300...400°C происходит выгорание жирового слоя, однако при этом возможны структурные изменения поверхности, приводящие к последующим дефектам.

При наличии на поверхности волокон и пыли в процессе ионной бомбардировки возникают микродуги, изменяющие структуру поверхности. В результате такого взаимодействия на поверхности образуются прижоги в виде различных рисунков «елочка», «мороз». Конденсация покрытия на такой поверхности приводит к образованию дефектов (рис. 6), при этом величина $\Delta\phi$ меняется в зависимости от количества дефектов.

Наличие на обрабатываемой поверхности участков с R_a больше 1,25 вызывает образование оплавленной поверхностной структуры, так как в этом случае ускоряющий потенциал распределяется в основном не по поверхности, а по вершинам микронеровностей. Наличие оплавленных вершин приводит также к образованию дефектов при последующем напылении.

Формирование свойств ионно-вакуумных покрытий начинается с процесса ионной бомбардировки исходной поверхности. При этом активная плазма, полученная с испарителя, ускоряясь в электрическом поле ($U_{\text{смещ}} \geq 1000$ В), с высокой энергией взаимодействует с обрабатываемой поверхностью, оказывая сильное влияние на процесс зарождения, роста и структуру получаемых покрытий. Нагрев поверхности носит сложный характер, так как происходит в результате превращения кинетической энергии ускоренного иона в тепловую энергию микрообъема поверхности подложки. Микрообъем ($2 \cdot 10^{-25}$ нм³) поверхностного слоя подложки за время взаимодействия с частицей (ионом) ($2 \cdot 10^{-11}$ сек) приобретает температуру 104...105 К.

Интенсивное увеличение температуры с последующим интенсивным охлаждением предполагает образование в микрообъемах поверхности аморфной или псевдоаморфной структуры. При этом наблюдается повышение подвижности как адсорбционных слоев, так и поверхностных атомов. Результатом этого является удаление с поверхности загрязнений, удаление и изменение свойств оксидов, частичное внедрение элементов плазмы в поверхность и образование псевдодиффузионных связей.

Свойства плазмы, ее энергетическое воздействие определяются свойствами элементов материала испарителя, их энергией когезионного взаимодействия, атомными размерами, массой, энергией активизации.

Основная задача процесса ионной бомбардировки – создание условий для получения беспористой плотности структуры покрытия с высокими адгезионными свойствами, равномерными по всей обрабатываемой поверхности. Степень изменения свойств поверхности в процессе ионной бомбардировки зависит от плотности плазменного потока, от равномерности перемещения катодного пятна и устойчивости работы испарителя. В оптимальном режиме работы испарителя плотность плазменного потока на обрабатываемых поверхностях должна быть одинаковой.

Как показали исследования, степень энергетического воздействия плазменного потока на поверхность эквивалентна его плотности [2].

На рис. 7 показаны топограммы изменения поверхностного потенциала обрабатываемой поверхности при воздействии плазмы элементов Al, Ti, Zr, Cu и

плазмы сложного состава (Fe–Cr–Ni). Изменение величины потенциала неравномерно по поверхности, отчетливо выявляются зоны максимального и минимального значения. Перемещение этих зон зависит от времени воздействия плазмы: с увеличением времени интенсивность изменения энергетических свойств поверхности выравнивается. Однако неравномерный характер распределения поверхностного потенциала сохраняется.

Избежать деления обрабатываемой поверхности на центральную и периферийную зоны можно только путем перехода на испаритель большего диаметра и создания плазменного котла, где испарение металла происходит со всей поверхности катода и плотность плазмы в рабочем пространстве камеры одинакова. Второй путь стабилизации свойств по поверхности – оптимальное размещение деталей в рабочем объеме камеры, что достигается путем исследования плазменных потоков конкретной установки.

В зависимости от элемента активной плазмы характер влияния ее на подложку меняется. Так, при бомбардировке активной плазмой Zr и Ti значение $\Delta\phi$ исходной поверхности в центре потока увеличилось до значения +200 эВ (рис. 7). При бомбардировке поверхности активной плазмой алюминия это превышение составило +750 эВ, а при воздействии на поверхность плазмой Cu значение $\Delta\phi$ стало отрицательным и составило -400 эВ. Аналогичная картина изменения энергетических свойств поверхности наблюдается и при воздействии плазмы катода сложного состава (Fe–Cr–Ni).

Проведенные исследования фазового состава показали, что в случае бомбардировки активной плазмой Ti на поверхности образуют соединения TiO, при воздействии Al – соединение Al₂O₃, а при воздействии Cu – соединение Fe₃O₄.

Такое различие в эффектах воздействия различных плазм можно объяснить тем, что первые два элемента (Ti и Al), являясь чрезвычайно активными по отношению к кислороду, забирают его из вакуума ($3 \cdot 10^{-3}$ Па) и на поверхности происходит плазмохимическая реакция с образованием оксидов.

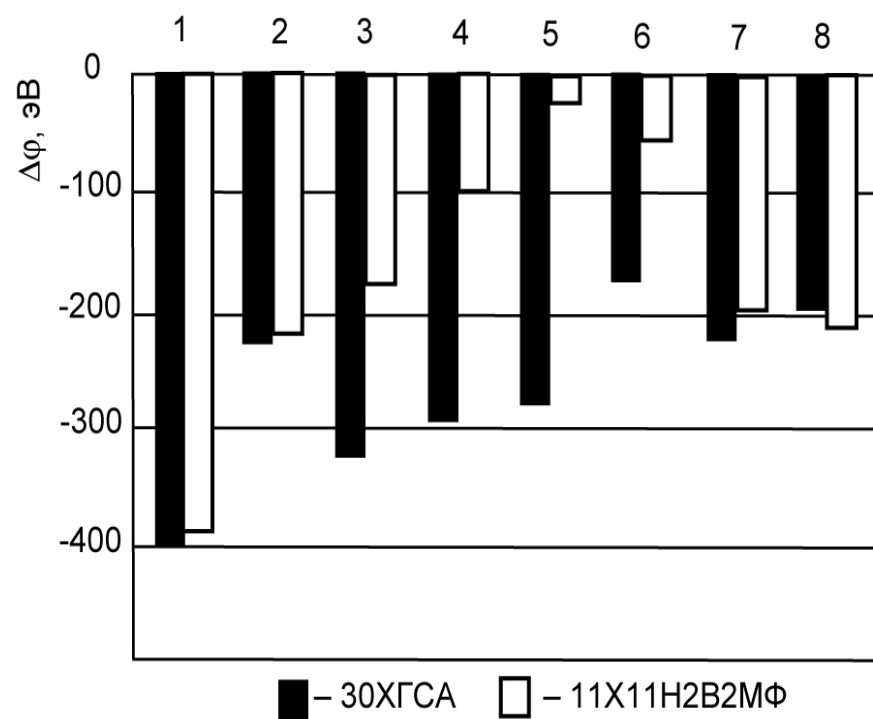
Плазма Cu, имеющая высокую энергию, передает ее подложке, значительно разогревая, при этом происходит окисление подложки, а ионы Cu распыляются. Толщина оксида Fe₃O в зависимости от энергии плазменного потока Cu может меняться от 10 до 100 нм.

Такое различие в получаемой структуре может сказываться на дефектности покрытия. Если оксид алюминия Al₂O₃ имеет плотную структуру, то монооксид титана TiO имеет дефектную структуру, причем ионы Ti за счет большей энергии сильнее искажают исходную поверхность, особенно в переходных местах, где имеются острые кромки.

Воздействие активной плазмы на поверхность изделий при ионной бомбардировке сопровождается не только разогревом поверхности и удалением оксидов, но и взаимодействием ионов плазмы с подложкой [3 – 6].

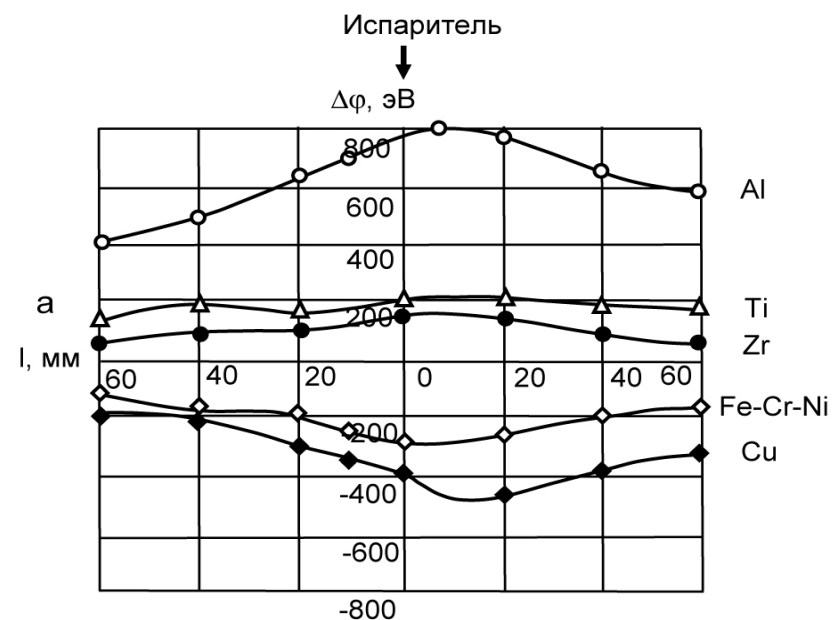
Исследования с помощью Оже-спектрометра показали, что при ионной бомбардировке в поверхностном слое подложки происходит диффузия элементов плазмы вглубь обрабатываемого материала.

В случае применения ионов титана глубина диффузионного слоя составила 30 нм, а использование ионов алюминия привело к образованию диффузионного слоя глубиной 40...50 нм (рис. 8).



- 1 – ультразвуковая обработка;
 2 – УЗО+АМГ;
 3 – УЗО+СОЖ; 4 – УЗО+ веретенное масло;
 5 – УЗО + обтирка волокнистым материалом;
 6 – УЗО + обработка пылью;
 7 – УЗО + декапировка;
 8 – УЗО + жир

Рис. 6. Влияние различных дефектов на величину потенциала сталей с покрытием TiN



Плазма	Фазовый состав поверхностного слоя
Al	Al_2O_3
Ti	$\alpha\text{-Ti} + \text{TiO}_2$
Zr	$\alpha\text{-Zr} + \text{ZrO}$
Fe-Cr-Ni	Fe_2O_3
Cu	Fe_2O_3

Рис. 7. Изменение поверхностного потенциала и структуры стали 11Х11Н2В2МФ после ионной бомбардировки: а – воздействие плазмой Al, Ti, Zr, Cu и плазмой сложного состава Fe-Cr-Ni; б – фазовый состав поверхностного слоя

Таким образом, процесс ионной бомбардировки носит сложный характер и состоит из нагрева поверхности, ионного травления, изменения фазового состава поверхности и диффузионного модифицирования [9]. Все эти процессы в той или иной степени будут влиять на качество и стабильность свойств формируемых покрытий. Учитывая неравномерность воздействия ионов на исходную поверхность и зависимость энергетического состояния от энергии ионов, необходимо добиваться равномерного их распределения по поверхности как гаранта последующего формирования свойств. Так, при снижении опорного напряжения от 1000 до 700 В величина $\Delta\phi$ изменилась в два раза и составила +200 эВ, а величина разброса поверхностного потенциала уменьшилась с 25 до 10%. Эффективность процесса очистки поверхности путем бомбардировки ионами металлов зависит от их энергии и плотности потока. Однако известно, что чем выше энергия ионов металла, тем выше температура разогрева подложки и соответственно выше дефектность поверхности. Это, в свою очередь, влияет на дефектность формируемого покрытия, что в ряде случаев, особенно для коррозионно-стойких покрытий, недопустимо. Кроме того, высокие температуры поверхности при ионной очистке недопустимы и для ряда сплавов, в частности алюминиевых (Al – Li), и сплавов, содержащих цинк.

Изменение свойств при технологическом нагреве имеет место и у оксидов. Как правило, оксиды представляют собой плотные соединения с хорошими диэлектрическими свойствами, затрудняющими формирование бездефектных покрытий с высокой адгезией. Поэтому удаление существующих на исходной поверхности оксидов ионной очистки создает необходимые условия для реализации адгезионной связи металл-покрытие на уровне когезионной. Исследование величины $\Delta\phi$ оксидов различных сплавов при технологическом нагреве показало, что исходная величина $\Delta\phi$ при нагреве существенно изменяется. Например, после нагрева титановых сплавов BT6 и BT23 до 100° С происходит увеличение $\Delta\phi$ на +100 эВ, что обусловлено ростом толщины естественной окисной пленки вследствие диффузии кислорода через оксид на поверхность границы металл-оксид (рис. 9). Дальнейшее увеличение температуры нагрева приводит к снижению величины $\Delta\phi$, что связано с возрастанием дефектности оксидов вследствие изменения механизма образования оксида путем диффузии ионов титана через оксид на его поверхности. Минимальное значение $\Delta\phi = -280$ эВ наблюдается при температуре ~400 °С, что указывает на максимальную дефектность оксида при этой температуре. Такая же закономерность изменения величины $\Delta\phi$ от температуры наблюдается и для других исследованных сплавов. Для оценки реального поведения металла в условиях окисления необходимо иметь конкретные данные о скорости процесса и влияния на нее различных внутренних и внешних факторов [7 - 9].

В соответствии с ионно-электронной теорией окисления Вагнера в оксидной пленке протекает встречная диффузия ионов металла и кислорода. Так как окислы имеют не точно стехиометрический состав, а характеризуются некоторым избытком или недостатком ионов, то в структуре окислов содержатся ионы либо в междоузлиях решетки, либо в незанятых ионами узлах – так называемых дырках.

Каждому ионному дефекту решетки соответствуют электронные дефекты, так что в решетке могут иметь место катионы с повышенной и пониженной валентностью по сравнению с обычной, а в междоузлиях решетки могут содержаться избыточные электроны. Вагнер показал, что при постоянном давлении кислорода произведение концентраций дефектов обоих типов постоянно, т. е. к ним применим закон действующих масс.

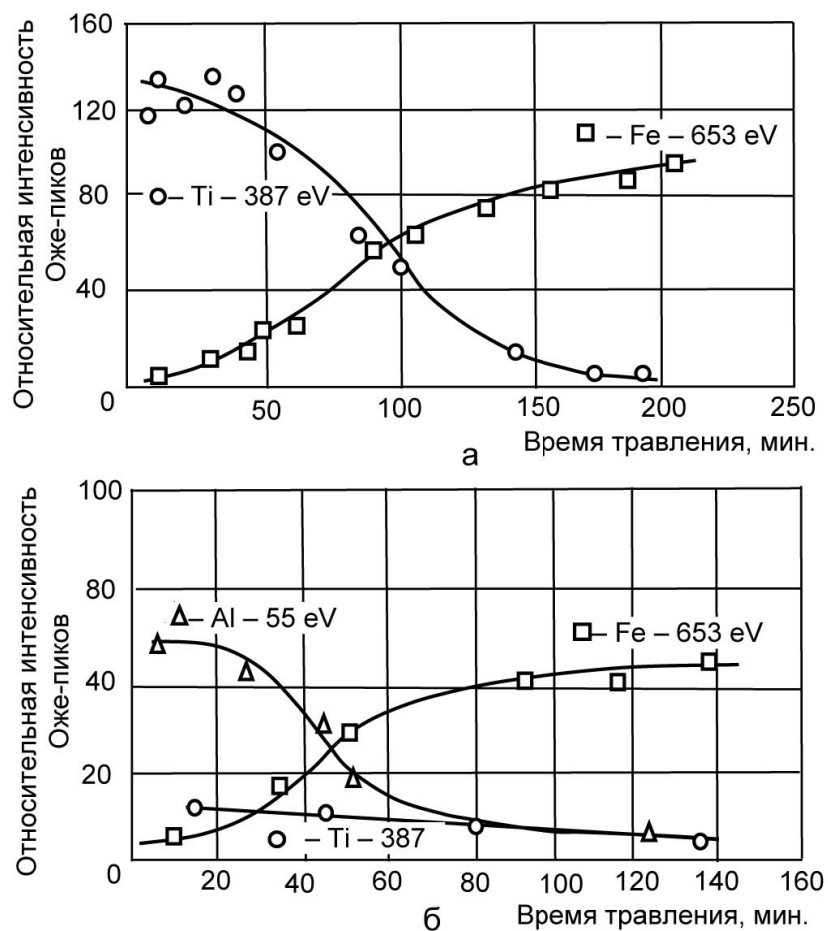


Рис. 8. Распределение элементов плазмы в поверхностном слое стали 30ХГСА при ионной бомбардировке ($\tau=5$ мин):
а – воздействие плазмы титана;
б – воздействие плазмы алюминия

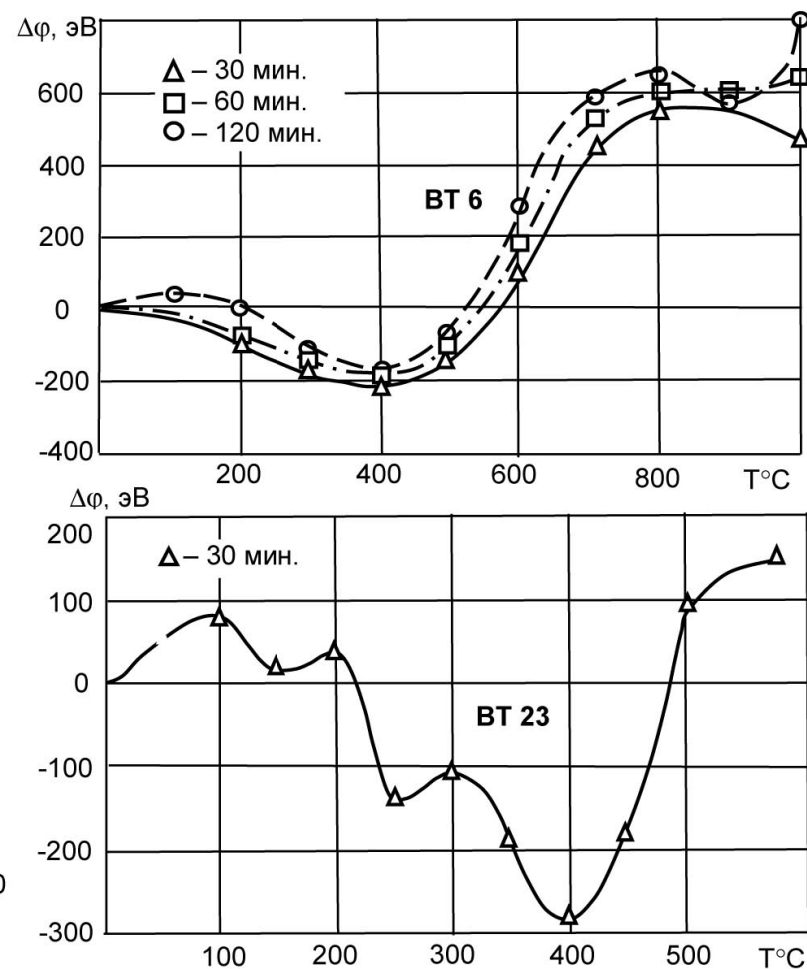


Рис. 9. Изменение величины поверхностного потенциала титановых сплавов в зависимости от температуры нагрева

В окисной пленке существует определенный градиент концентрации дырок по толщине пленки вследствие неравномерного распределения вакантных мест. В результате этого возникает направленная диффузия ионов через окисную пленку, причем в зависимости от типа дефектов диффундируют либо анионы кислорода, либо катионы металла. Для сохранения электрической нейтральности окисла диффузия ионов сопровождается диффузией электронов, и поэтому Вагнер рассматривает окисную пленку как гальванический элемент, в котором окисная пленка одновременно служит и электролитом, и внешней цепью. На фазовых границах пленки протекают анодные и катодные реакции, за счет которых возникает ЭДС элемента.

Скорость окисления металла определяется скоростью диффузии катионов (или анионов) через окисную пленку, которая, в свою очередь, пропорциональна концентрации соответствующих дефектов решетки. Для снижения скорости окисления металла необходимо уменьшить количество дефектов. Это может быть достигнуто введением в решетку окисла катионов с иной, чем у металла окисла, валентностью. При этом, если образуются оксиды с избытком атомов металла, то легирование целесообразно осуществлять металлом, имеющим большую валентность, и наоборот. Оксид легирующего элемента должен быть растворим в оксиде основного металла.

Теория создания защитного оксида (А. А. Смирнов и Н. Д. Томашов), способного предохранить основной металл от окисления, включает в себя следующие основные требования к легирующему элементу:

- оксид легирующего элемента должен быть сплошным;
- оксид легирующего элемента должен иметь высокое электрическое сопротивление для того, чтобы препятствовать встречной диффузии ионов металла, электронов и ионов кислорода. Наиболее высокое электросопротивление имеют оксиды алюминия и кремния;
- радиус атома легирующего элемента должен быть меньше радиуса атома основного металла. Это необходимо по двум причинам: атомы меньшего размера легче диффундируют к поверхности металла, а параметры решетки оксида таковы, что диффузия через этот оксид атомов основного элемента предельно затруднена;
- теплота образования оксида легирующего элемента должна быть больше, чем оксида основного металла; теплота образования оксида алюминия 1670 кДж/моль, а оксида железа (FeO) – 272 кДж/моль;
- оксид легирующего элемента должен иметь высокие температуры плавления и возгонки, а также не образовывать низкотемпературных эвтектик в смеси с другими оксидами;
- легирующий элемент должен образовывать с основным металлом твердый раствор, что необходимо для равномерного распределения его в металле и образования оксидной пленки на всей поверхности сплава.

Для сталей минимальное значение $\Delta\phi$ оксида, равное -300 эВ, наблюдается в интервале температур 300...400°C, а оксид алюминиевого сплава Д16 теряет устойчивость в интервале температур 300...500°C при значении $\Delta\phi = -380$ эВ (рис.10 – 11). Проведение очистки поверхности в интервале температур, при которых наблюдается минимальное значение оксида, позволило более обоснованно подойти к выбору температурного режима нанесения покрытия и при этом обеспечить реализацию высокого уровня адгезионной связи. При нагреве в вакууме (10^{-3} Па) при недостатке кислорода дефектность оксида возрастает, что благоприятствует образованию диффузионной зоны металл-покрытие (рис. 12).

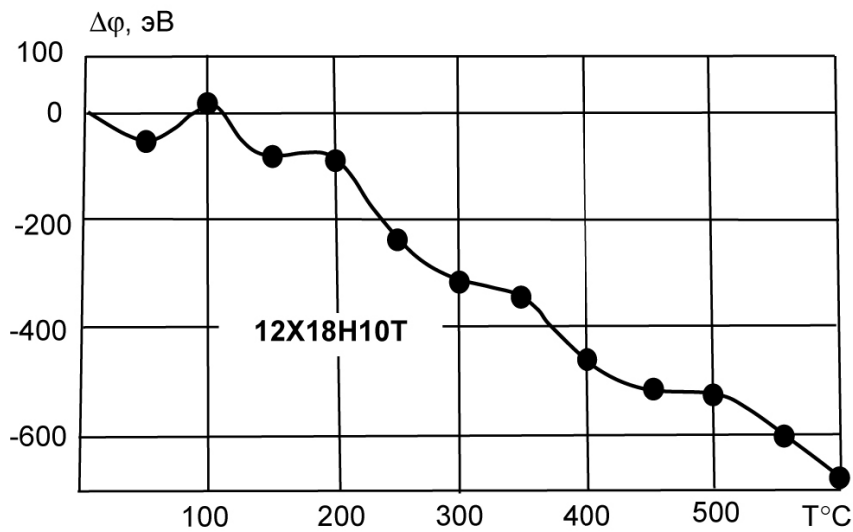
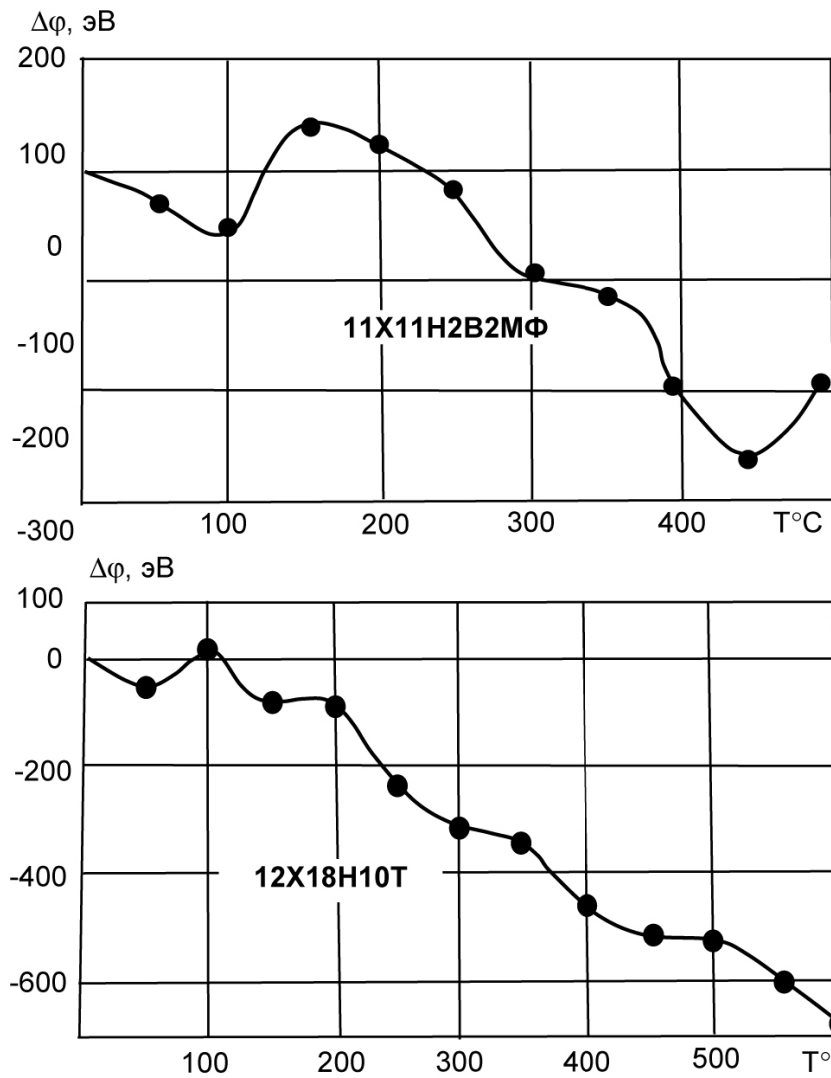


Рис. 10 . Изменение величины
поверхностного потенциала сталей
в зависимости от температуры нагрева ($\tau=30$ мин)

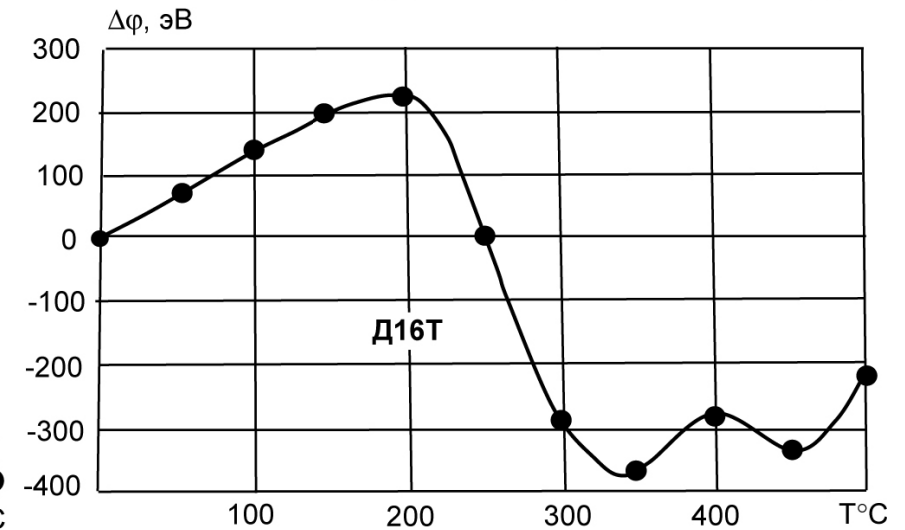
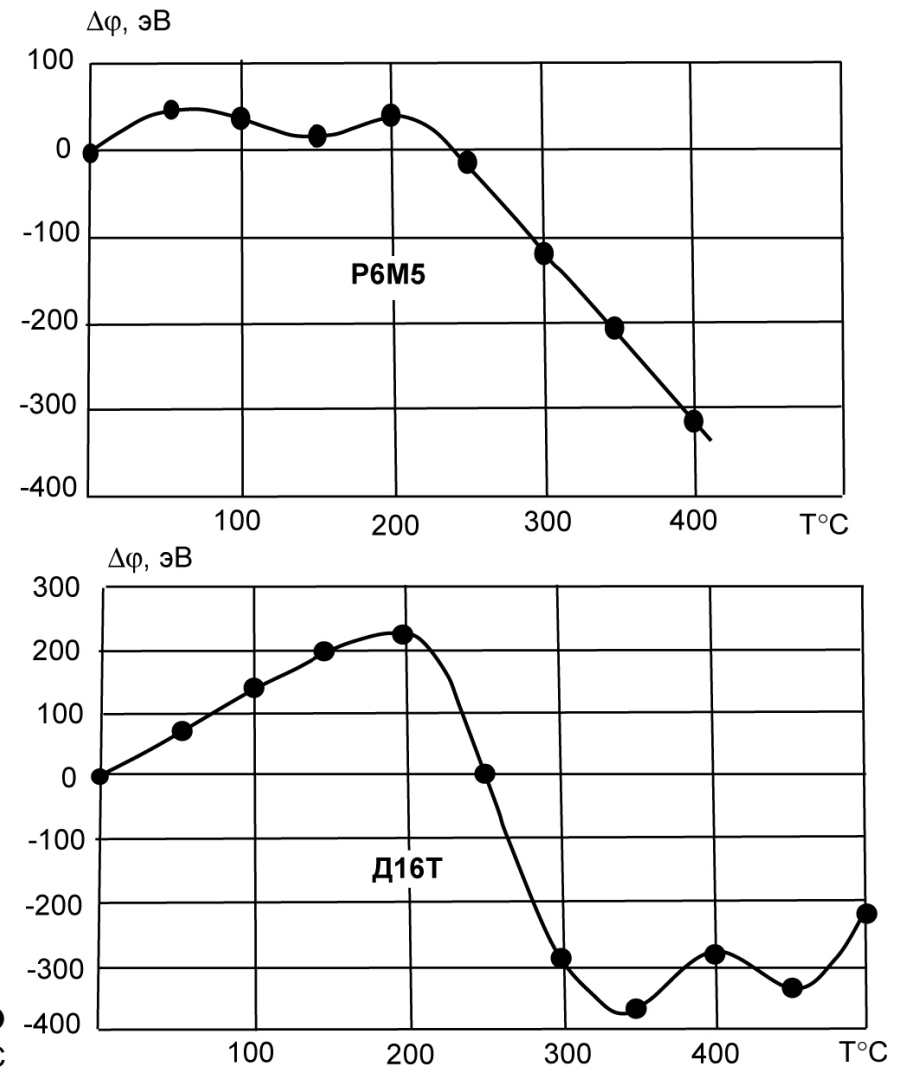


Рис. 11. Изменение величины
поверхностного потенциала в зависимости
от температуры нагрева ($\tau=30$ мин)

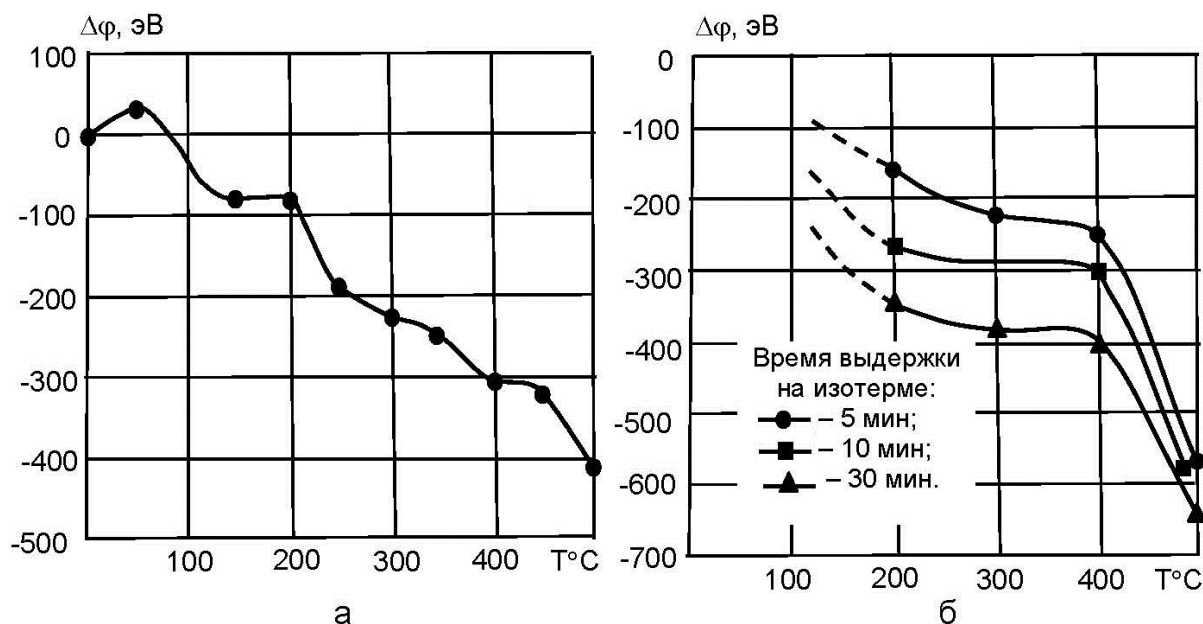


Рис. 12. Изменение величины поверхностного потенциала сплава 30ХГСА в зависимости от температуры нагрева:
а – на воздухе ($\tau = 30$ мин); б – в вакууме ($p = 3 \cdot 10^{-3}$ Па)

Выводы

1. Установлены характер и особенности изменения свойств поверхности деталей на этапе ее очистки в тлеющем разряде и при ионной бомбардировке плазмой алюминия титана и циркония, меди и плазмы сложного состава, вскрыты причины возможных отклонений структуры поверхности и приведены способы стабилизации свойств.

Сложный характер процесса ионной бомбардировки, состоящий из нагрева поверхности, ионного травления, изменения фазового состава поверхности и диффузионного модифицирования, оказывает существенное влияние на качество и стабильность свойств формируемых покрытий.

Таким образом, эффективность процесса очистки поверхности путем бомбардировки ионами металлов зависит от их энергии и плотности потока.

2. Проведен анализ изменения свойств оксидов при технологическом нагреве и сформулированы основные требования к оксиду легирующего элемента, обеспечивающие способность предохранить основной металл от окисления.

Список литературы

1. Бычков, А.С. Изменения свойств поверхности деталей на различных этапах формирования вакуумных ионно-плазменных покрытий. Сообщение 1. Неразрушающий контроль поверхности слоев материала. Изменение состояния поверхности на технологическом этапе предварительной очистки [Текст] / А.С. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского. – Вып. 73, 2016. – С. 31–43.

2. Gutier, P. Tribological behaviour of N or O -doped austenitic stainless-steel magnetron sputter-deposited coatings [Текст] / P. Gutier // Surface and Coatings Technology. – 114 (1999). – P. 148 – 155.
3. Perry, A. J. The color of TiN and HfN: Aging effects [Текст] / A. J. Perry // Vac. Sci. Technol. – 1986, A4(6). – P. 2670.
4. Бецофен, С. Я. Текстуры ионно-плазменных покрытий из Ti и TiN [Текст] / С. Я. Бецофен, Л. М. Петров, Э. М. Лазарев // Тез. докл. 6 Всесоюзной конференции «Текстуры и рекристаллизации в металлах и сплавах». – Свердловск, 1991. – С. 176.
5. Пирсон, У. Кристаллохимия и физика металлов [Текст] / У. Пирсон. – М: Мир, 1977. – Ч. 2. – 471 с.
6. Физическое металловедение. – Т. 2 [Текст] / Под ред. Р.У. Кана. – М.: Металлургия, 1987. – 156 с.
7. Физические величины. Справочник [Текст] / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232с.
8. Барвинок, В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий [Текст] / В. А. Барвинок. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
9. Петров, Л. М. Контроль качества покрытий наносимых методом ВИПТ [Текст] / Л. М. Петров, С. Я. Бецофен, И. В. Милосердов // Тез. докл. координационного совета «Разработка оборудования и технологических процессов многофункциональных вакуумных ионно-плазменных покрытий на металлические поверхности». – М.: НИАТ, 1990. – С. 110.
10. Исследование процесса окисления сплавов на основе никелида титана при отжиге в воздушной атмосфере [Текст] / С. В.Скворцова, Л. М. Петров, А.А. Шаронов и др. // Научные труды МАТИ. – Вып. 2(74). – М.: Латмэс, 1999. – С. 72 – 76.

Поступила в редакцию 13.09.16.

Зміна властивостей поверхні деталей на різних етапах формування вакуумних іонно-плазмових покриттів. Повідомлення 2. Очищення в тліючому розряді і при іонному бомбардуванні поверхні. Властивості оксидів при технологічному нагріванні

Встановлено характер і особливості зміни властивостей поверхні деталей на етапі їх очищення в тліючому розряді і при іонному бомбардуванні плазмою різних металів, виявлено причини можливих відхилень структури поверхні та наведено способи стабілізації властивостей.

Встановлено, що ефективність процесу очищення поверхні шляхом бомбардування іонами металів залежить від їх енергії та щільності потоку.

Проведено аналіз зміни властивостей оксидів при технологічному нагріванні і сформульовано основні вимоги до оксиду легуючого елемента, які забезпечують здатність захищати основний метал від окислення.

Ключові слова: вакуумні іонно-плазмові покриття, очищення в тліючому розряді, іонне бомбардування плазмою, вимоги до оксиду легуючого елемента.

Changing of properties of details surface on various stages of formation of the vacuum ion-plasma coatings.

Report 2. Cleaning in the glow discharge and under ion bombardment of surface. Properties of oxides during technological heating

The nature and features of changing of properties of the parts surfaces on the stage of their treatment in a glow discharge and under ion bombardment by plasma of various metals are determined. The reasons for possible deviations of the surface structure are revealed. And ways of properties stabilizing are provided. The efficiency of the surface treatment process by ion bombardment metals depends on their energy and flow density. The analysis of changes in oxide properties during technological heating is carried out. The main requirements to the oxide of the alloying element which providing the ability to protect the base metal from oxidation are formulated.

Keywords: vacuum ion-plasma coating, treatment in glow discharge, ion bombardment by plasma, requirements to the oxide of the alloying element.

Сведения об авторах

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