

4. Колотыркин, Я. М. Современные методы противокоррозионной защиты / Я. М. Колотыркин // Защита металлов. –1993. – № 2. – С. 119–121.

5. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В.Семенова, Г. М. Флорианович, А. В.Хорошилов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

6. Groysman, A. Corrosion for everybody / A. Groysman. – Dordrecht: Springer-Verlag, 2010. – 368 p.

Представлено 18.04.2023

УДК 621.793:620.172

**ОСНАЩЕНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
АВТОМОБИЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ**

MODERNIZATION OF VACUUM-PLASMA EQUIPMENT
FOR THE IMPLEMENTATION OF THE PROCESSES HARDENING
AND RESTORATION OF CAR PARTS OF INCREASED PRECISION

Лойко В. А., канд. техн. наук, доц.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
V. Loyko, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

В статье предложено переоснащение вакуумно-плазменного оборудования для упрочнения и восстановления деталей повышенной точности автомобилей нанесением покрытий.

The article proposes the re-equipment of vacuum-plasma equipment for hardening and restoring parts of increased accuracy of automobiles by applying coatings.

Ключевые слова: установка, устройство, электрическая дуга, испаритель, вакуум, плазменный поток, плазмодод, ионный источник, вакуумная камера, детали автомобиля.

Keywords: *installation, device, electric arc, evaporator, vacuum, plasma flow, plasma guide, ion source, vacuum chamber, car parts.*

ВВЕДЕНИЕ

Плазменно-дуговые вакуумные установки нашли применение для упрочнения режущего инструмента, технологической оснастки и восстановления деталей автотракторной техники. Для нанесения вакуумно-плазменных покрытий на детали повышенной точности, изготовленные из качественных конструкционных углеродистых или легированных и цементированных сталей с твердостью 42–56 HRC, должен быть сохранен микро- и макро рельеф поверхности, а ее температура не должна превысить критическую (~ 100–250 °С) фазовых превращений с потерей твердости или недопустимой деформацией. В пароплазменном потоке, генерируемом катодными пятнами вакуумной электрической дуги с интегрально холодной поверхности расходоуемого катода, присутствуют микро- и макро капельные частицы расплавленного металла, которые приносят на поверхность детали дополнительно энергию кристаллизации, способствуют неконтролируемому росту температуры детали, могут снижать класс шероховатости поверхности на 1–2 класса и являются очагами разрушения при трении [1], что не допустимо для ответственных деталей автотракторной техники.

Состав пароплазменного потока определяется в первую очередь током вакуумной электрической дуги и теплофизическими характеристиками исходного (расходоуемого катода) металла.

Минимальный ток в катодном пятне:

$$I_{\text{к}} = 2,5 \cdot 10^4 \cdot T_{\text{к}} \cdot \sqrt{\lambda_{\text{т}}} \quad (1)$$

где $T_{\text{к}}$ – температура кипения; $\lambda_{\text{т}}$ – коэффициент теплопроводности металла катода.

Для устойчивого развития вакуумной дуги требуется не менее двух катодных пятен, поэтому излишки тепла на поверхности катода усиливают проплавление и разбрызгивание капель металла, часть которых попадает на поверхность детали и осаждается в виде включений в основном материале покрытия [1].

Условие получения упрочняющего материала покрытия при осаждении на поверхность в вакууме плазменных потоков из уравнения теплового баланса поверхности [2]:

$$P_x \approx \frac{j}{z_e} (\varepsilon_0 + z_e \cdot U) - \frac{W(T)}{\Delta H_x}, \quad (2)$$

где P_x – содержание нитрида, карбида, карбонитрида в покрытии;

$W(T)$ – потери энергии за счет теплопроводности и излучения;

ΔH_x – энергия диссоциации молекулы N_2 , C_2H_2 , CH_4 , O_2 их смесей или иного реакционного газа, необходимого для получения упрочняющего материала покрытия;

ε_0 – средняя энергия ионов в плазменном потоке,

U – потенциал подложки;

j – плотность ионного тока;

z_e – заряд (ионизация) иона металла покрытия.

Из выражения (2) следует, что температура поверхности должна быть больше минимальной для образования слоя упрочняющего покрытия из химического соединения (карбида, нитрида, карбонитрида, сульфида, оксида или их композиций) металла IV–VI групп Периодической системы, что создает серьезное технологическое противоречие, требующее разрешения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.

Предложена модернизация существующего технологического оборудования для реализации технологии низкотемпературного вакуумно-плазменного упрочнения и восстановления деталей повышенной точности [3], включающая (рис. 1):

- оснащение установки высокоэнергичным источником типа «Радикал» для «мягкой» предварительной очистки поверхности ускоренными до энергии $(2-6) \cdot 10^3$ эВ ионами нейтрального газа Ar при ионном токе 0,25–2 А без загрязнения нейтральными частицами металла.

- оснащение вакуумной камеры установки оригинальным устройством для улавливания нейтральных макрочастиц металла (твердых, каплеобразных, расплавленных и нейтральных атомов)

– оснащение установки низкоэнергетичным источником типа «Аида» для ионизации и подачик поверхности детали реакционного газа азота, метана, ацетилен, кислорода или их смесей, необходимых для образования покрытия соответствующего состава, с энергией $(1-3) \cdot 10^2$ эВ.

Устройство для улавливание нейтральных макро- и микрочастиц (рис. 1) выполнен в виде криволинейного (1/4 тора) плазмоведа 7, на котором установлены через заданные промежутки семь соленоидов магнитной системы 10 с согласованными векторами магнитных полей таким образом, что обеспечивается транспортировка ионов металла покрытия с поворотом на 90° .

Конструктивные особенности предлагаемого устройства (рис. 1), выполненного в виде семиэлектро-изолированных друг от друга секций 7, позволяют подключать их к положительным полюсам автономных источников питания 11, реализовать независимое управление оптимальной транспортировкой ионной компоненты через секции плазмоведа и обеспечить пропускание до 50–70 % ионов, в отличие от 30–50 % в ранее известных системах. Нейтральные частицы при этом движутся прямолинейно и улавливаются корпусом.

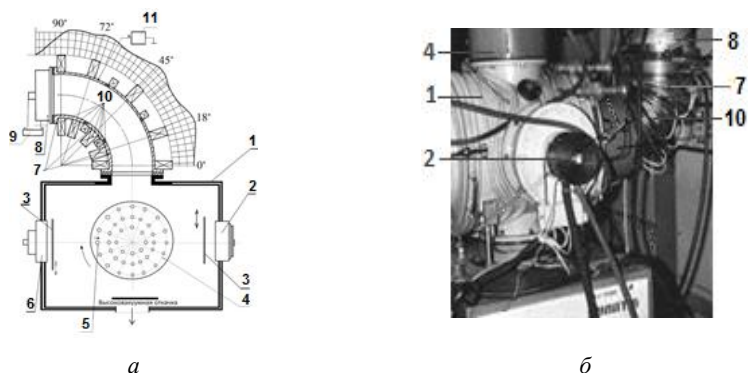


Рисунок 1 – Устройство модернизированной вакуумно-плазменной установки:
а – схема расположения основных технологических устройств; *б* – фрагмент модернизированной установки; 1 – вакуумная камера; 2 – источник ионов «Аида-2»; 3 – заслонка; 4 – планетарная система вращения деталей относительно источников; 5 – упрочняемые (восстанавливаемые) детали; 6 – источник ионов типа «Радикал»; 7 – плазмовод; 8 – электродуговой испаритель; 9 – источник питания электродугового испарителя; 10 – магнитная система; 11 – источник + потенциалов семи секций плазмоведа

В электродуговом испарителе 8 (рис. 1) генерируются потоки плазмы исходного материала, содержащие ионы металла с зарядом от +4 до +1 и частицы (капли и твердые осколки от 0,1 до 120 мкм в поперечнике) которые подлежат удалению. В скрещенных магнитном и электрическом полях устройства ионам металла сообщается дополнительная энергия и движение, направленное к центру, заставляющее без потерь скользить вдоль оси в направлении поверхности деталей, на которых и осаждается покрытие.

Предварительная ионизация реакционного газа в ионном источнике типа «Аида» позволяет подавать в зону формирования покрытия ионы неметалла с энергией ионов 20–300 эВ при плотности ионного потока 0,5–10 А и активировать плазмохимические реакции на поверхности детали при температуре < 100–150 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведенная модернизация вакуумно-плазменного оборудования позволила наносить упрочняющие покрытия на детали автомобилей повышенной точности без последующей термической и механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лойко, В. А. и др. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве. / В. А. Лойко [и др.]. – Минск: Издание УО «БГАТУ», 2007. – 191 с.
2. Дороднов, А. М. Некоторые применения плазменных ускорителей в технологии / А. М. Дороднов // Физика и применение плазменных ускорителей. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 330–365.
3. Лойко В. А. Нанесение вакуумно-плазменных покрытий на ответственные поверхности деталей узлов агрегатов автомобилей / В. А. Лойко, В. С. Ивашко // Материалы 20-й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» 01–05 июня 2020 г. Киев, 2020. – С. 71–73.

Представлено 18.04.2023