

УДК 537.5

Хафизов А.А., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Валиев Р.И., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

НАПЫЛЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОРОШКА НА СТАЛЬ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКОЙ С ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ КАТОДОМ

Аннотация. В последнее время большое внимание уделяется различным технологическим процессам с применением низкотемпературной плазмы, и в частности, процессу плазменного напыления. Несмотря на то, что способ плазменного напыления развивается сравнительно длительное время, в этой области имеется ряд нерешенных вопросов, которые связаны с выбором оптимальных режимов напыления. Это связано с тем, что разработка оптимальных режимов процесса напыления - довольно сложная задача, так как еще не решена задача создания оптимальной конструкции плазматрона. В этой статье рассматривается технологическая плазменная установка с жидким электродом, которая позволяет получить плазменную струю с температурой до 5000°C и длиной до 100 мм. Разработанная установка позволяет производить плазменное напыление поверхности стали. Рассмотрен процесс и параметры оптимальных режимов плазменного напыления.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, электрический разряд, напыление, жидкий электрод, электротермическая установка, адгезия, упрочнение, плазменная струя.

Введение. Проблемы упрочнения и защиты от коррозии вновь изготавливаемых и восстановления изношенных поверхностей деталей, является актуальной, так как уже до выработки полного ресурса промышленность вынуждена производить замену сложных, и дорогостоящих деталей и узлов новыми, для дальнейшей эксплуатации машин [1, с.48].

Одним из перспективных способов упрочнения и защиты поверхностей деталей является плазменное напыление [2, с.55], особенно для деталей машин работающих при высоких температурах. Так как такие детали изготавливаются из

сложнолегированных сплавов, их восстановление обычными методами сварки, наплавки и гальванотехники невозможен из-за появления дефектов в зоне сварки, невозможности сварки, структурных изменений в металле, длительностью процесса осаждения гальванопокрытий и т.д. Все эти недостатки отсутствуют при напылении покрытий, имеющего преимущества: напылением можно наносить различные тугоплавкие материалы, напылять можно на различные материалы, покрытие можно наносить как на большие, так и на ограниченные участки, возможность напыления покрытия толщиной до 2 мм, незначительный нагрев основы, отсутствуют структурные изменения основы, простота оборудования [3, с.27].

Экспериментальная установка. Функциональная схема экспериментальной электротермической установки (рис.1), предназначенная для получения электрического разряда [4, с.36] при атмосферном давлении, состоит из системы электрического питания, оборудования предназначенного для хранения, очистки, подачи и регулирования параметров электролита; сменных электролитических ячеек – ванн; аппаратуры контроля и управления работой установки и измерения характеристик электрических разрядов, параметров термических процессов и результатов воздействия плазмы разряда с электролитическим электродом на твердые тела.

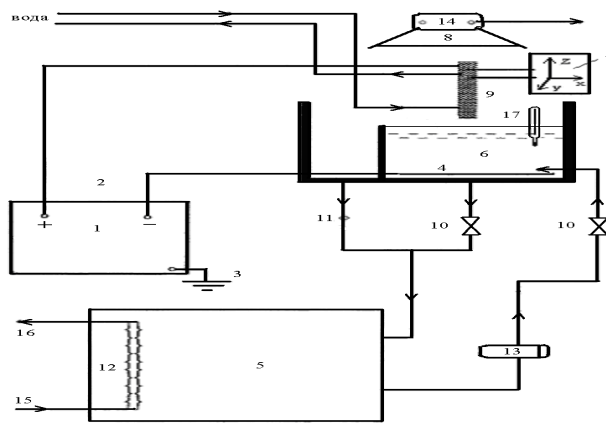


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной электротермической установки. 1 – источник питания; 2 – токоподвод; 3 – заземлитель; 4 –

токоподводящая пластина; 5 – емкость для хранения электролита; 6 – электролитная ячейка; 7 – координатное устройство; 8 – вытяжной кожух; 9 – твердый металлический электрод; 10 – вентили; 11 – обратный клапан; 12 – змеевик; 13 – насос; 14 – вентилятор; 15, 16 – трубопровод охладителя; 17 – термометр

Электрический разряд возникает между жидким и твердым (металлическим) электродами в диапазоне межэлектродного расстояния $l = 1 \div 100$ мм, силы тока $I = 10 \div 100$ А, напряжения $U_p = 40 \div 300$ В. В качестве электролитического электрода использовалась техническая вода, растворы NaCl, CuSO₄ различной концентрации и т.д.

Рабочий процесс при использовании в качестве металлического электрода разрядной камеры в форме усеченного полого цилиндра, изображен на рис. 2. Электрический разряд горит между нижней кромкой металлического и проточного электролитического электродами. Когда температура поверхности металлического электрода достигает определенной величины (около 50° С), через внутренний канал разрядной камеры появляется плазменная струя. Длина этой струи существенно зависит от тока разряда I , межэлектродного расстояния l , типа разрядной камеры и температуры проточного электролита и металлического электрода. Для поддержания оптимальной температуры поверхности металлического электрода, применяется охлаждение при помощи водопроводной воды.

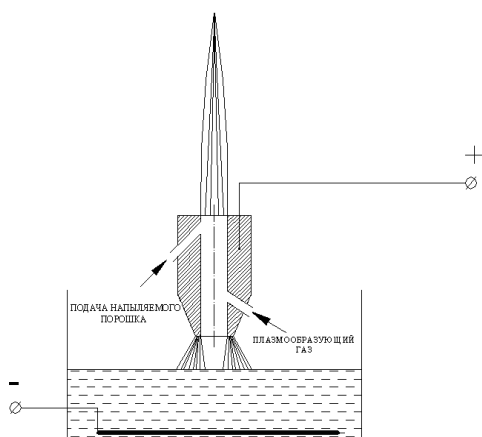


Рис. 2. Устройство для получения плазменной струи с разрядной камерой в форме усеченного полого цилиндра

Процесс плазменного напыления: через горящую между двумя электродами дугу (электрод электролит и медное сопло) пропускается газ (аргон, азот, воздух). За счет высокой энергии горячей дуги атомы газа теряют со своих внешних оболочек электроны. В результате получается ионо-электронный газ или плазма. Температура плазменной струи достигает температуры 3000 - 5000°С. В зону на выходе из сопла в плазменную струю подается напыляемый материал в виде порошка. Материалом для напыления служил порошок оксида железа Fe_3O_4 [5, с.67]. В результате напыляемый материал разогревается до плавления, разгоняется и наносится на поверхность обрабатываемой детали.

В процессе напыления необходимо контролировать толщину напыленного слоя, которая для плазменного покрытия составляет 0,1-2 мм.

Влияние толщины на прочность покрытий из оксида железа, при отрыве от подслоя, показана на рис.3. Снижение прочности сцепления покрытий с ростом толщины объясняется, прежде всего, накоплением остаточных напряжений при последовательном напылении слоев.

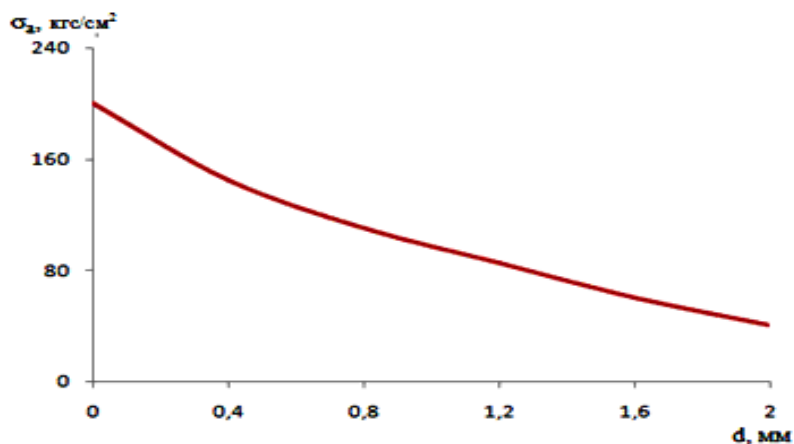


Рис. 3. Зависимость адгезионной прочности от толщины покрытия оксида железа

Увеличение дистанции и времени полета частиц оксида железа приводит к росту прочности.

Важным фактором, определяющим прочность сцепления плазменных покрытий и другие их физико-механические свойства, является качество распыления напыляемых частиц. Выбор оптимального размера порошка зависит от многих условий. Диаметр частиц может быть получен из уравнения теплопроводности $\partial T / \partial \tau = a d^2 T / dx^2$, где $a = \lambda / c \cdot \gamma$ - коэффициент температуропроводности; λ - теплопроводность; c - теплоемкость; γ - плотность; τ - время нагрева порошка. Решение уравнения в критериальной форме $(T_m - T_1) / (T_m - T_2) = f(F_0)$, где T_m - температура плавления частицы; T_1 - начальная температура центра частицы; T_2 - конечная температура центра частицы; F_0 - критерий Фурье ($F_0 = 4a\tau / r^2$); r - радиус частицы.

Решение критериального уравнения при $T_2 = 0,9T_m$; $f(F_0) = 0,1$; $F_0 = 0,3$ дает максимальную величину диаметра порошка

$$d = 4\sqrt{a\tau / 0,3}. \quad (1)$$

Расчет по выражению (1) для оксида железа дал величину диаметра 100мкм. Гранулированный состав порошка должен быть однородным. При широком

интервале размеров частиц качество и адгезия покрытий значительно ухудшаются. Это объясняется неравномерностью нагрева порошка различной грануляции.

Угол напыления оказывает влияние на прочность сцепления. Результаты измерения прочности на отрыв плазменных покрытий, напыленных при различных углах, показаны на рис.4.

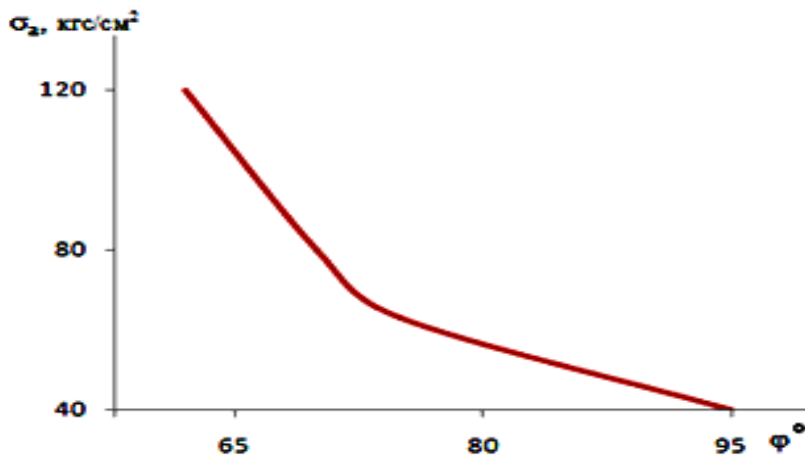


Рис.4. Зависимость адгезионной прочности от угла напыления

Наибольшая прочность сцепления покрытий из оксида железа достигается при угле нанесения 60°. Это объясняется тем, что при уменьшении угла от 90° до 60°, уменьшается сопротивление газовой струи и, следовательно, увеличивается скорость частиц при столкновении их с поверхностью, что приводит к лучшему сцеплению покрытий с ней.

Для оптимизации процесса плазменного напыления оксида железа на металлическую подложку, определяем регрессионную зависимость прочности сцепления от некоторых входных параметров. Для этого использовали метод планирования многофакторного эксперимента. Для выбранного способа напыления и установки, были выбраны наиболее существенные параметры: сила разрядного тока (I), величина расстояния от места ввода порошка до подложки (h), расход плазмообразующего газа (Q), и времени обработки (τ). В качестве выходной величины оптимизации были выбраны параметры d – толщина покрытия, и ρ – плотность покрытия.

Математическая обработка результатов эксперимента с помощью метода наименьших квадратов позволила получить уравнения регрессии в следующем виде:

$$d=y=50,69+3,31x_1-5,22x_2+6,16x_3+5,78x_4-4,34x_1x_4-0,18x_2x_3+7,31x_3x_4$$

$$\rho=y=2,92+0,28x_1+0,27x_3-0,34x_4+0,29x_1x_4-0,14x_2x_4+0,11x_3x_4$$

Полученные зависимости могут быть использованы для определения необходимых режимов работы, а так же для управления процессом.

Вывод. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что для повышения адгезионной прочности необходимы комплексные теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие вскрыть механизм формирования прочного адгезионного контакта. Использование методов планирования многофакторных экспериментов дает возможность оптимизировать процесс напыления с целью получения максимальной адгезионной прочности.

Литература

1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин: - М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учеб. Пособие. - 2003. – 360 с.
3. Лащенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление: - К.: Екотехнологія, 2003.- 64 с.
4. Ю.И. Шакиров, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Г.Ю. Шакирова. Многоканальная плазменная установка с электролитическим катодом // Научно - технический журнал «Автомобильная промышленность». М: - 2011.- № 2. – С. 36-38.
5. Валиев Р.И., Гайсин Ал.Ф., Гайсин Ф.М., Гумеров А.З., Насибуллин Р.Т., Садриев Р.Ш., Саримов Л.Р., Хафизов А.А. Некоторые особенности получения мелкодисперсных порошков оксида железа в низкотемпературной плазме электрического разряда с жидким катодом // «Известия высших учебных

заведений. Физика». – Томск: Изд-во Томского Госун-та, 2014. - Том 57. - № 3/3.
С. 66-69.

*Khafizov A.A., Branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny.
Valiev R.I., Branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny.*

SPRAYING FERROMAGNETIC POWDER STEEL PLASMA INSTALLATIONS WITH ELECTROLYTIC CATHODE

Abstract. Recently, much attention is paid to different processes with using of low-temperature plasma, and in particular, the process of plasma spraying. Despite the fact that the plasma spraying method is developing for a relatively long time, there are several unsolved issues in this field that are associated with the choice of the optimal spraying modes. It is connected with the fact that the development of optimal spraying process modes is a rather difficult task, since the problem of creating an optimal design for the plasmatron is not solved yet. In this article the technological plasma plant with liquid electrode is discussed, which provides a plasma spray with a temperature up to 5000°C and lengths up to 100 mm. Engineered installation allows to carry out plasma spraying of steel surface. The process and parameters of plasma spraying optimal modes are examined in the article.

Keywords: low-temperature plasma, electric discharge, spray, liquid electrodes, electrothermal installation, adhesion, hardening, plasma jet.