

УДК 669: 621.03.539

к.т.н. Мурга В. В.,
к.т.н. Антропов И. И.,
Гамазин Д. К.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМОЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Описан метод улучшения характеристик изделий из стали при использовании неравновесной плазмы. Показано, что разряд между металлическим анодом и электролитическим катодом приводит к экстремальным условиям нагрева путем создания мощного кратковременного теплового потока в изделие, с последующим быстрым охлаждением. В результате такого воздействия происходят фазовые изменения в поверхностном слое стали, приводящие к изменению её механических или химических свойств.

Ключевые слова: неравновесная плазма, плазматрон с жидким электродом, изменение фазовой структуры стали при экстремальном нагреве.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Использование плазматронов с жидким электродом обусловлено высокой эффективностью поверхностной обработки и простотой реализации этого метода. Подобный вариант плазматрона рассматривается как генератор неравновесной плазмы с большим отрывом электронной температуры от ионной температуры. Газоразрядная плазма с такими свойствами даёт возможность получать недостижимые другими путями технологические эффекты, к числу которых относятся: поверхностная термическая обработка с экстремальной скоростью нагрева и охлаждения, полировка металлических поверхностей с одновременным уменьшением параметра шероховатости Ra от 0,40 до 0,20 мкм и менее и др. Перспективность использования генераторов неравновесной газоразрядной плазмы с жидкими электродами в этих целях подтверждается результатами многих экспериментальных исследований.

Однако возможности технологических применений генераторов неравновесной газоразрядной плазмы с жидкими электродами ещё мало изучены и все выводы и технологические режимы основаны на результатах экспериментальных исследова-

ний. Актуальность исследований в этом направлении обуславливается целым рядом причин: высокой энергетической эффективностью, достаточно низкой стоимостью оборудования, высокой степенью экологической чистоты технологических процессов с применением неравновесной плазмы газового разряда с жидкими электродами.

Существует несколько методов обработки материалов с экстремальным нагревом. Это лазерная обработка, воздействие равновесной плазмы и электроннолучевая обработка. Большинство подобных методов связаны с использованием сложного и дорогостоящего оборудования. Доступной альтернативой в таком случае может стать использование искрового разряда для обработки. Такой метод позволяет организовать значительный тепловой поток от искры в изделие, и затем быстрое охлаждение за счёт теплопроводности среды и стали.

К числу проблемных вопросов, связанных с промышленным использованием плазматронов относится эрозия электро-

© Мурга В. В., 2014

© Антропов И. И., 2014

© Гамазин Д. К., 2014

дов. Эрозия ограничивает продолжительность непрерывной работы плазмотронов и возможность использования в качестве плазмообразующих химически активных газов, которые интенсифицируют процесс эрозии. Например, водяной пар является привлекательным с технологической точки зрения плазмообразующим газом, но его использование существенно сокращает срок службы электродов. Поэтому, несмотря на определенные успехи в создании плазмотронов работающих на паре, низкий ресурс непрерывной работы таких плазмотронов и ограничение по мощности препятствуют их широкому использованию. Радикальным решением проблемы ресурса работы плазмотрона является разряд между жидкими электродами.

Самостоятельный разряд между жидкими электродами, устойчиво горящий на постоянном токе в воздухе при атмосферном давлении в диффузном (объемном) виде, является весьма интересным физическим объектом. В качестве электродов обычно используются электролиты, водные растворы, просто водопроводная вода, а также жидкий металл. Хотя разряд между жидкими электродами известен около ста лет, физические процессы, состав и свойства разрядной плазмы изучены мало.

Постановка задачи.

Задачей данной работы является исследование плазмотрона с жидким электродом и анализ физических и механических свойств поверхности металлов после их обработки в плазмотроне с жидким электродом.

Изложение материала и его результаты.

Для исследования была собрана установка, состоящая из источника напряжения, ёмкости с водой, на дне которой располагался катод. Анодом служил угольный стержень. В разрядную цепь включалось сопротивление 150 Ом. При обработке изделия (из стали 45) помещалось на донный электрод, ёмкость заполнялась слабым раствором солей в дистиллированной воде

выше уровня обрабатываемой поверхности. Между электродами прилагалось напряжение 800 вольт. После этого угольный стержень опускался до момента пробоя в жидкости. Затем устанавливался режим повторяющихся разрядов. Так проводилась обработка в течении 30 секунд.

В условиях кратковременного действия интенсивного поверхностного теплового источника, что соответствует методике поверхностной обработки неравновесной плазмой [1], возможно использование однородного линейного уравнения теплопроводности для полуограниченного тела:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} - \rho (\lambda \nabla^2 T) = 0, \quad (1)$$

где c_p — теплоемкость, ρ — плотность, λ — теплопроводность материала.

Граничные условия для процесса нагрева образца можно представить как:

Тогда для боковой поверхности образца квадратного сечения со стороны a граничные условия примут вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{a}{2}} &= -h \left(T \Big|_{x=\pm \frac{a}{2}} - T_0 \right) - \sigma T^4 \Big|_{x=\pm \frac{a}{2}}, \\ \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\pm \frac{a}{2}} &= -h \left(T \Big|_{y=\pm \frac{a}{2}} - T_0 \right) - \sigma T^4 \Big|_{y=\pm \frac{a}{2}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где T_0 — температура окружающей среды.

Использование дистиллированной воды в качестве среды обработки позволяет достичь сразу нескольких положительных эффектов. Во первых – благодаря высокой плотности воды, в момент пробоя она замедляет поперечный рост канала разряда, что увеличивает плотность тока и температуру плазмы, и как следствие – тепловой поток. С другой стороны – высокая теплоёмкость и теплопроводность воды позволяет быстро отвести тепло от нагретого участка после завершения разряда. Это создаёт резкий перепад температур в поверхностном слое, и как следствие – фазовые преобразования [2].

Процесс обработки металлов в неравновесной плазме достаточно экономичен. При плотности тока 1 А/см^2 расход электроэнергии составляет порядка $0,05 \text{ кВт/час}$ на 1 см^2 . На рисунках 1, 2 показаны электрические характеристики разряда. Разряд достаточно стабилен и от концентрации зависит в малой степени.

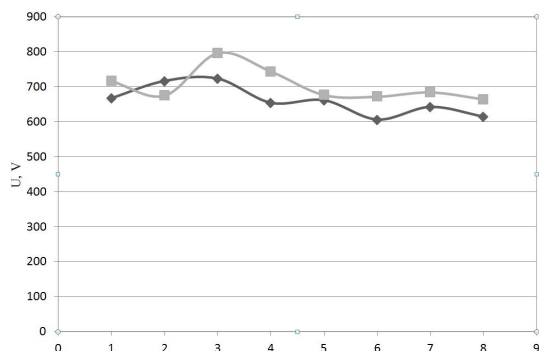


Рисунок 1 — Зависимость напряжения зажигания разряда от концентрации

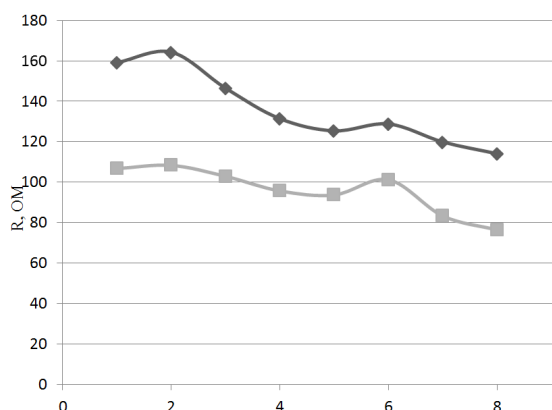


Рисунок 2 — Зависимость дифференциального сопротивления разряда от концентрации

Микроструктура обработанной поверхности анализировали путём изучения протравленного микрошлифа поверхности при помощи металлографического микроскопа.

Анализируя микроструктуру обработанной поверхности стали, которая представлена на рисунке 3, можно выделить следующие особенности:

Размер и форма зёрен не претерпели изменений.

В необработанной зоне можно чётко выделить 2 фазы — слабо травящийся феррит и тёмные протравленные зёрна перлита.

В областях подвергшихся обработке зёрна практически не травятся.

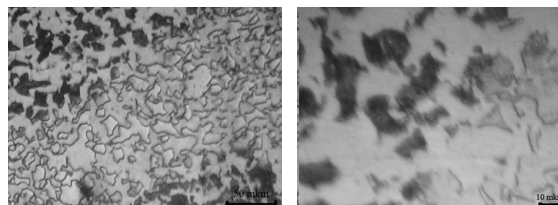


Рисунок 3 — Микроструктура поверхности обработанной стали

Из внешнего вида границы, а также на основе визуального анализа при шлифовке можно заметить некий перепад уровней между фоновой фазой (предположительно феррит) и преобразованной фазой (видимо зёрна перлита, преобразованные в мартенсит).

Граница раздела обработанной и необработанной поверхности может проходить даже по самому зерну.

Исследование твердости показало значительные изменения. Эта информация представлена на рисунке 4.

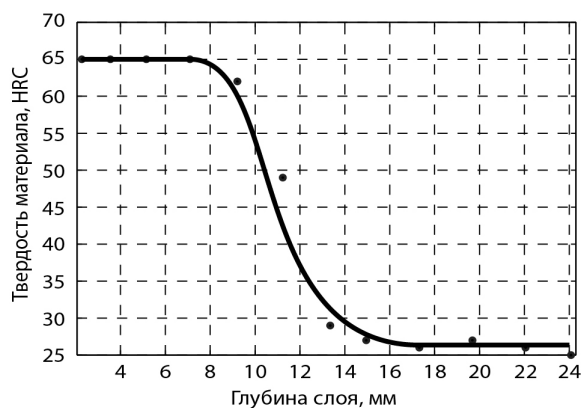


Рисунок 4 — Твёрдость обработанного образца

Значение твердости в данном случае превышает показатели при традиционной термической обработке, плазменно-дуговой и лазерной обработке, причем время обработки, включая предварительную подго-

товку, значительно уменьшается по сравнению с другими видами обработки.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Предложенный способ обработки поверхности металлов обладает высокой энергетической эффективностью. Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают возможность получения высоких эксплуатационных характеристик деталей с нагруженной поверхностью.

Благодаря высокой скорости изменения температуры не успевают пройти диффузия углерода между фазами. Изменениям подверглись только перлитные зёрна.

Зёрна перлита, очевидно, при нагревании преобразовались в аустенит, который

благодаря быстрому охлаждению преобразовался в мартенсит.

Эти фазовые изменения значительно повысили твёрдость обработанной поверхности.

Таким образом, представленный метод позволяет обеспечить высокую твёрдость изделий из углеродистых сталей. Простота конструкции и доступность компонентов делает такой подход экономически выгодным.

Применение водной среды в качестве среды обработки, и ограничение разрядного тока обеспечивает преобразование фазового состава стали.

После обработки поверхность не требует финишной доводки поверхности.

Библиографический список

1. Мурга В. В. Использование плазматрона с жидким катодом для упрочнения поверхности материалов / В. В. Мурга, Дж. Омеман, И. И. Антропов. — Алчевск : ДонГТУ. — 2008. — 6с.
2. Антропов И. И. Моделирование процесса нагрева стальных изделий в электролите / И. И. Антропов, Дж. Омеман, Д. К. Гамазин, А. В. Жданович. — Всеукраїнська конференція «Відкриті фізичні читання» (11 травня, м. Алчевськ) : Збірник тез доповідей. — Алчевськ : ДонДТУ, 2012. — 12 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Мочалиным Е. В., д.т.н., проф. ВНУ им. В. Даля Корсуновым К. А.

Статья поступила в редакцию 23.06.14.

к.т.н. Мурга В. В., к.т.н. Антропов І. І., Гамазін Д. К. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна) ОБРОБКА СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НЕРІВНОВАЖНОЮ ПЛАЗМОЮ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Описано метод поліпшення характеристик виробів із сталі при використанні нерівноважної плазми. Показано, що розряд між металевим анодом і електролітичним катодом призводить до екстремальних умов нагріву шляхом створення потужного короткочасного теплового потоку у виріб, з наступним швидким охолодженням. У результаті такого впливу відбуваються фазові зміни в поверхневому шарі сталі, що призводять до зміни її механічних або хімічних властивостей.

Ключові слова: *нерівноважна плазма, плазматрон з рідким електродом, зміна фазової структури сталі при екстремальному нагріванні.*

Murга V. V. Candidate of Engineering Sciences, Antropov S. S. Candidate of Engineering Sciences, Gamasin D. K. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine) STEEL PRODUCTS TREATMENT BY NONEQUILIBRIUM PLASMA IN WATER ENVIRONMENT

Improvement technique of steel products characteristic in usage nonequilibrium plasma is described. The discharge between metal anode and electrolytic cathode leads to extreme heating conditions by creation of powerful short period thermal flow in the product with the following quick cooling is shown in the article. Phase changes in the results of such influence which lead to change of its mechanical or chemical properties.

Key words: *nonequilibrium plasma, plasmatron with liquid electrode, change of phase steel structure in extreme heating.*