

ЗАКАЛКА И ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

А.Д. Погребняк¹⁾, В.В. Понарядов²⁾, Ш.М. Рузимов³⁾, Ю.А. Кравченко¹⁾, С.Н. Братушка¹⁾,
А.М. Старцев¹⁾, Ю.Н. Тюрин⁴⁾

¹⁾Сумской институт модификации поверхности, г. Сумы, Украина

²⁾Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

³⁾Ташкентский Государственный Университет, г. Ташкент, Узбекистан

⁴⁾Институт электросварки им. О.Е. Патона, НАН Украины, г. Киев, Украина

В работе представлены результаты анализов проведенных на образцах стали, обработанных электролитной плазмой в трех разных режимах (с электродами из Си; Сг; припоя). Показано, что глубина упрочненного слоя составляет несколько миллиметров. В результате обработки поверхностный слой легируется элементами материалов электрода и растворенными в растворе. Рельеф поверхности представляет собой сильно развитую поверхность. Обнаружено неравномерное упрочнение по глубине, связанное в первую очередь с различным числом импульсов и неравномерным распределением различных фаз: FeO, Fe₃O₄, Cr, FeCr, Fe₂O₃.

Введение

Одним из эффективных методов поверхностного упрочнения и легирования является электролитно-плазменная обработка, которая в последнее время очень активно внедряется в промышленность. Основными достоинствами этого метода обработки является: высокий КПД достигающий 85% [1, 2], значительная глубина упрочнения от нескольких миллиметров до 10 мм, возможная реализация на простом оборудовании без использования токсичных электролитов и соединений (т.е. – это экологически чистый процесс). Несмотря на практическое использование этого метода в промышленности, многие физические процессы еще недостаточно изучены, например, процессы легирования и массопереноса, очистки и микродугового оксидирования [2].

Методика эксперимента

Электролитно-плазменная обработка представляет собой один из способов скоростного нагрева, при котором обрабатываемая деталь является катодом или анодом относительно водного раствора электролита. Электролитно-плазменная обработка производится путем периодического нагрева и охлаждения поверхности изделия за счет изменения электрического потенциала в слое плазмы, создаваемым между жидким электродом (электролитом) и поверхностью катода (изделия). Под действием изменившегося давления в месте разряда, поверхность жидкого электрода-анода колеблется.

В результате величина зазора между поверхностями жидкого электрода и твердого тела – катода меняется. Напряженность электрического поля в самом электролите не высокая (до 80-200 В/м), но в слое плазмы напряженность может достигать 10^4 - 10^6 В/м (рис. 1). Экспериментально установлено, что электрическое напряжение в слое электролита толщиной 300 мм не более 25 В. В плазменном слое толщиной 0,1-3 мм напряжение достигает 300 В.

В зависимости от величины напряжения между анодом и катодом можно проследить пять характеристик режимов нагрева поверхности жидкого электрода и твердого тела – катода [3].

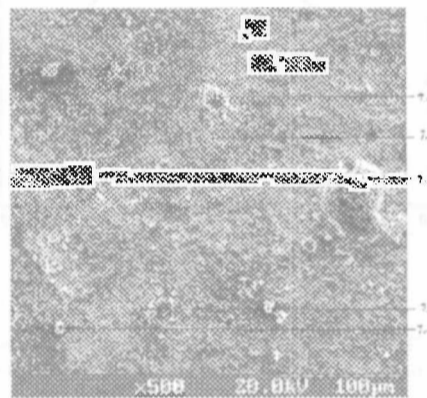


Рис.1. Структура поверхности обработанной электролитной плазмой с анодом из Си

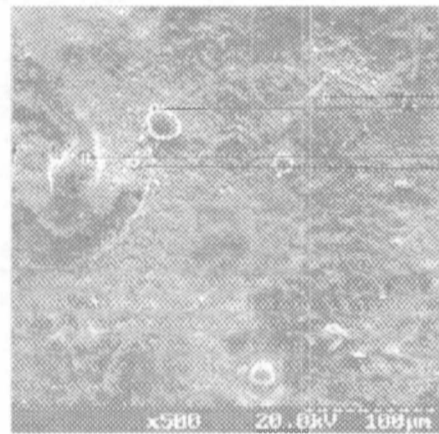


Рис.2. Структура поверхности образца обработанного электролитно плазменной технологией, режим №1

В первом режиме электрическое напряжение составляет $U = 60 \dots 120$ В. Электролит (жидкий электрод) омывает поверхность холодного катода. Температура поверхности катода меньше температуры кипения электролита. Электрическая энергия затрачивается в основном на нагрев электролита. Второй режим ($U = 80 \dots 160$ В) характеризуется повышением температуры поверхности катода выше температуры кипения электролита. На катоде образуется парогазовый слой. В третьем режиме

$U = 120 \dots 200$ V. Наблюдается локальный нагрев парогазового слоя, прилегающего к поверхности твердого тела, вследствие возникновения электрических разрядов. Колебание поверхности электролита обеспечивает локальное повышение напряженности электрического поля до 10^8 V/m, образуются микроразряды, чередующиеся охлаждением поверхности катода электролитом. В четвертом режиме $U = 180 \dots 260$ V. Через $2 \dots 10$ s между поверхностями катода и электролита формируется устойчивый плазменный слой, который имеет переменное сечение. Наблюдается стабильное свечение плазмы в прикатодной области.

Дальнейшее повышение напряжения (до $240 \dots 320$ V) обеспечивает образование плазменного слоя практически мгновенно, за $0.1 \dots 0.5$ s. Наблюдается интенсивное свечение плазменного слоя. Скорость нагрева поверхности может достигать 500°C/s .

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе мы использовали образцы стали и три вида электролитно-плазменной обработки:

Образец №1, время нагрева 4 сек, паузы 4 сек, общее время – 2 мин, $j = 10 - 40$ A; $U = 300$ V (электрод – Cu).

Образец №2, время нагрева 2 сек, паузы 4 сек, общее время – 2 мин, $j = 10 - 40$ A; $U = 300$ V (электрод – Cr).

Образец №3, время нагрева 3 сек, пауза 8 сек, общее время – 2 мин, $j = 10 - 40$ A; $U = 300$ V.

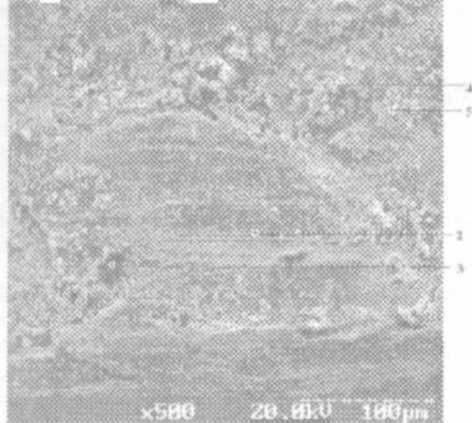


Рис. 3. Структура поверхности обработанной электролитной плазмой с анодом из Cr

На рисунке 1, 2 представлены изображения поверхности, которая представляет из себя оплавление участка с различным содержанием элементов, на изображении показано, с какого участка проведен микроанализ с помощью EDS. Видны расплавленные капли на поверхности, которые возникли в результате взаимодействия плазменного слоя с верхним слоем стали. На рис. 5 представлено распределение элементов в трех точках при обработке с электродом из Cu. С правой стороны основного пика Fe, имеется пик от Cu, кроме того имеется в поверхностном слое почти все элементы, которые присутствуют в рас-

творе и внедряются в поверхность при образовании поверхностного слоя. Следует отметить, что спектр изображает интеграл концентрации по глубине около 1 мкм.

Структурно-фазовый анализ проводили с помощью установки Дрон-2 в кобальтовом излучении. В результате анализа выведены следующие фазы: FeO, Fe₂O₃, Cr, FeCr, Fe₃O₄.

На рис. 3, 4 приведены изображения поверхностного слоя после обработки электролитно-плазменным режимом (электрод из Cr). Также видно, что поверхность оплавлена, имеются участки похожие на капли застывшего металла. На этих рисунках помечены участки, с которых проводился микроанализ с помощью EDS.

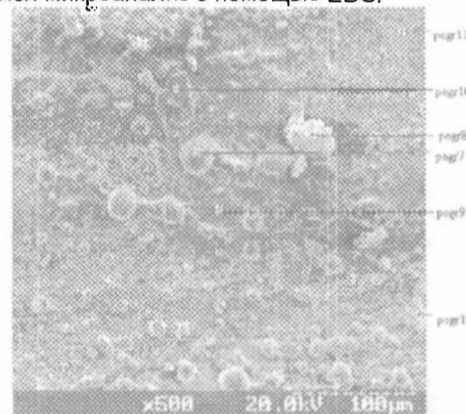


Рис. 4. Структура поверхности образца обработанного электролитно плазменной технологией, режим №2

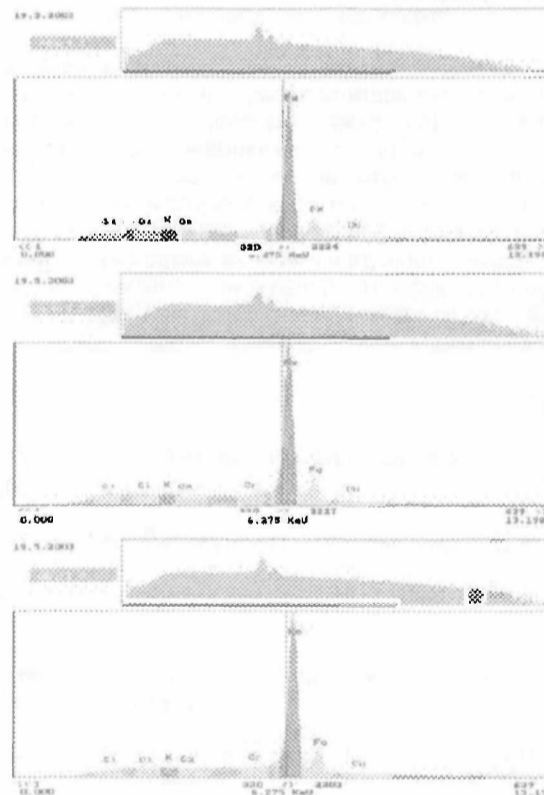


Рис. 5. Спектры элементного анализа состава поверхности образца обработанного электролитно-плазменной технологией. (Режим №1 анод – Cu)

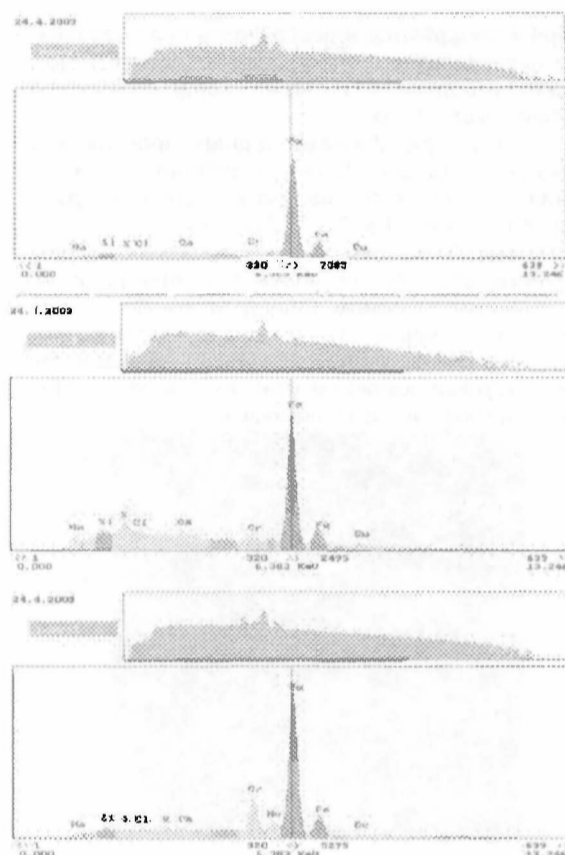


Рис. 6 Спектры элементного анализа состава поверхности образца обработанного электролитно-плазменной технологии. (Режим №2 анод – Cr)

На рис. 6. представлено содержание элементов в поверхностном слое, электролитной плазмой образца (2 режим электрод из Cr) в трех точках. Можно обратить внимание на то, что второй по интенсивности пик от Cr (после Fe), т.е. содержание Cr в этом слое в отдельных участках, достигает от 3+5 at. % до 13+16 at. %.

Далее, проводя измерения микротвердости по косому шлифу, мы попытались получить распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя рис. 7.

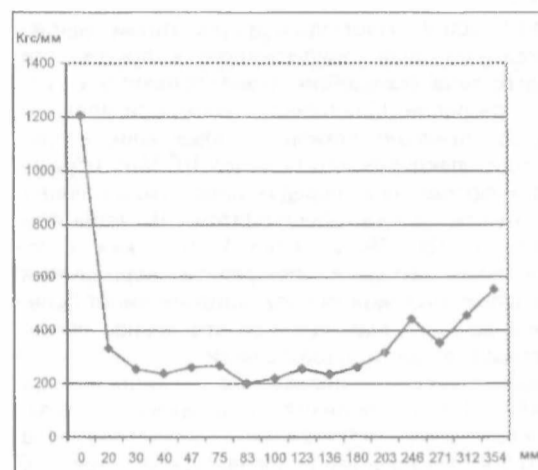


Рис 7. Изменение микротвердости по глубине (косой шлиф)

Заключение

Таким образом, проводя электролитно-плазменную обработку поверхности сталей, можно легировать (насыщать этот слой элементами электрода и раствора), причем со значительной концентрацией, т.е. можно сказать о легировании. Глубина упрочненного слоя зависит от режима обработки и составляет от нескольких миллиметров до 10 мм. Поверхность обработанных электролитной плазмой образцов представляет собой оплавленный слой с участками в виде расплавленных капель. XRD анализ показал, что основными фазами в упрочненном слое сталей являются: FeO, Fe₂O₃, Cr, FeCr, Fe₃O₄.

Список литературы

1. Pogrebniak A.D., Kul'ment'eva O.P., Kobsev A.P. and all // Tech. Phys. Letters. – 2003. - V.29. - №4. -P. 312-315.
2. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S.J. // Surface and Coating Technology. 1999. – V.122. - P. 73-93.
3. Тюрин Ю.Н., Погребняк А.Д. // ЖТФ. – 2002. - Т.72. - Вып. 11. - С. 119-120.

QUENCHING AND DOPING OF STEEL AS A RESULT OF ELECTROLYTE- PLASMA TREATMENT

A.D.Pogrebniak¹⁾, V.V. Ponaryadov²⁾, Sh.M. Ruzimov³⁾, Yu.A.Kravchenko¹⁾, S.N. Bratushka¹⁾, A.M. Starsev¹⁾, Yu.N.Tyurin⁴⁾

¹⁾Sumy Institute for Surface Modification, Romenskaya Str.87, Bld."M", P.O.Box 163, 40030 Sumy, Ukraine; e-mail: apogrebniak@simp.sumy.ua

²⁾Belarussian state University, Minsk, Belarus.

³⁾Tashkent State University Department of Nuclear Physics Tashkent, Uzbekistan.

⁴⁾Welding Institute NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine.

The paper deals with results of analysis for steel samples treated with the electrolyte plasma in three various regimes (using Cu, Cr, and solder electrodes). It has been demonstrated, that the hardened layer depth is several milli-meter. As a result of treatment, the surface layer was doped by the elements of electrode material and those dissolved in the solution. The surface relief looks very rough. We have found non-equilibrium hardening over the sample depth, which seems to be related to the pulse number and non-uniform distribution of phases: FeO, Fe₃O₄, FeCr, Fe₂O₃ detected by XRD analysis.