

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНО ПОЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Синькевич Ю.В., Янковский И.Н. (БНТУ, г. Минск, Беларусь)

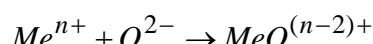
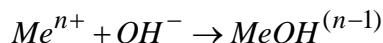
Results of x-ray structure and metal graphics researches phase structure surface corrosion firm steel after electro pulse polishing are resulted. Founded optimal regimes of treatment that secure quality of polishing surface.

Введение. Высококачественное полирование поверхности металлов и сплавов достигается в анодном электрогидродинамическом режиме, к особенностям которого относятся самоорганизованные гидродинамические потоки в электролите и динамически устойчивая парогазовая оболочка, отделяющая поверхность анода от электролита. Разработанный метод обработки получил название электроимпульсного полирования (ЭИП) [1], впоследствии названный рядом исследователей электролитно-плазменной, плазмо-электролитной и электролитно-разрядной обработкой.

Физико-химическое состояние поверхности детали оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики детали и физико-механические свойства поверхности. Согласно [2] ЭИП снижает по сравнению с механическим и электрохимическим полированием коэффициент трения на 14...17 % и повышает износостойкость поверхности на 22 %. В работах [2, 3] приводятся данные о снижении микротвердости электроимпульсно полированной поверхности по сравнению с исходной. Авторы работ объясняют этот эффект удалением в процессе полирования наклепанного поверхностного слоя, локальным термическим воздействием парогазовой оболочки на тонкий поверхностный слой и снижением количества карбидов и карбонитридов на поверхности стали в результате избирательного травления при ЭИП. Как было показано в [4] влияние ЭИП на микротвердость поверхности носит более сложный характер.

Целью настоящей работы является исследование влияния технологических режимов ЭИП на фазовый состав и структуру поверхности коррозионно-стойких сталей мартенситного и аустенитного классов для оптимизации режимов ЭИП.

Результаты исследований и их обсуждение. В [5] приведены результаты исследования распределения химических элементов и соединений в тонком поверхностном слое (7...25 Å) коррозионно-стойких сталей после ЭИП. Показано, что при ЭИП анодное растворение обрабатываемой поверхности происходит преимущественно за счет окисления металлов, входящих в состав сталей. Спектрограммы, приведенные в [6], показывают наличие в парогазовой оболочке в достаточно большом количестве кислорода, гидроксильных групп и атомарного водорода. Следовательно, химическое взаимодействие металлов, входящих в состав анода, с электролитом, находящимся в парогазовой оболочке, может протекать по следующим схемам:



Основной предпосылкой при выборе электролита является возможность анодного растворения в нем данного металла. При этом, как было показано в [7], для достижения высокого качества поверхности (низкой шероховатости и максимальной отражательной

способности) необходимо обеспечить примерное равенство скоростей образования и растворения (удаления) окисной пленки с обрабатываемой поверхности. Химический состав и свойства электролита существенно влияют на ход анодного растворения металла и в значительной мере определяют производительность полирования и качество обработанной поверхности. К электролитам для обработки сталей в режиме ЭИП предъявляются следующие основные требования:

- универсальность полирующего действия к различным структурным составляющим;
- высокая электропроводность и низкая вязкость раствора;
- высокая стойкость при повышенных температурах;
- стабильность свойств после прохождения большого количества электричества;
- возможность использования в широком диапазоне режимов обработки;
- отсутствие токсического воздействия электролита и продуктов его разложения на окружающую среду;
- невысокая коррозионная активность по отношению к оборудованию и обрабатываемым деталям;
- электролиты должны быть доступны и дешевы.

Этим требованиям наилучшим образом удовлетворяют водные растворы неорганических солей. В настоящее время нет единой теории, в полном объеме объясняющей механизм анодного растворения металла при ЭИП. Это заставляет подбирать электролиты опытным путем. При этом критериями правильности выбора электролита служат: снижение исходной шероховатости поверхности, повышение ее отражательной способности, отсутствие визуально наблюдаемых пленок на обработанной поверхности и равномерность растворения основных структурных составляющих обрабатываемого сплава.

В качестве основы для электролитов при ЭИП коррозионно-стойких сталей был использован сульфат аммония. Однако однокомпонентный электролит, как было показано в [5], не обеспечивает равномерности растворения основных структурных составляющих коррозионно-стойких сталей мартенситного и аустенитного классов при разных режимах ЭИП. Поэтому также исследовалось влияние добавок в электролит – органических комплексообразователей (ОКО) на качество полированной поверхности. Положительное действие ОКО заключается в переводе окислов металлов с поверхности анода в электролит в виде растворимых комплексных соединений, предотвращая пассивацию поверхности анода и значительно (в 2,5...5,6 раза) повышая производительность обработки.

Объектами для исследований были выбраны из мартенситного класса – сталь 20Х13, из аустенитного – сталь 12Х18Н10Т в состоянии поставки.

Составы электролитов и режимы ЭИП приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы электролитов и режимы ЭИП образцов из стали 20Х13

Номер образца	Состав электролита	Концентрация электролита *, мас. %	Температура электролита, °C	Напряжение обработки, В
1	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4	70	250
2	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4	70	300
3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4	70	450
4	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{ОКО} ***$	4 + 0,5	70	250
5**	—	—	—	—
6	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{ОКО} ***$	4 + 0,5	70	300
7	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{ОКО} ***$	4 + 0,5	70	450

Примечание: * вода остальное; ** образец-свидетель после механического полирования; *** ОКО – органический комплексообразователь.

Фазовый состав поверхности образцов из стали 20Х13 исследовался методом рентгеновской дифракции на дифрактометре ДРОН 3,0 в CuK_α излучении с монохроматором. Микроструктура поверхности изучалась при помощи оптического микроскопа Neophot-21 методом цветного избирательного химического и электрохимического травления, а также избирательного травления составляющих структуры с промежуточной съемкой рентгенограмм.

Анализ полученных рентгенограмм показал, что образцы № 1...№ 7 имеют идентичные рентгенограммы. В таблице 2 приведены межплоскостные расстояния и фазовый состав для образца № 1. Видно, что все рентгеновские линии принадлежат одной фазе – α -железу или ферриту.

Таблица 2. Межплоскостные расстояния и фазовый состав поверхности образца № 1

Угол дифракции, 2θ	Межплоскостное расстояние, d	Фаза
44,5	2,036	α -фаза
65,1	1,433	α -фаза
82,4	1,170	α -фаза
99,0	1,010	α -фаза
116,1	0,9088	α -фаза

На линиях (200), (211) и (220) образца-свидетеля наблюдается тетрагональное расщепление вследствие частичного образования мартенсита, который представляет собой перенасыщенный твердый раствор углерода в тетрагонально искаженном α -железе. Линии других фаз отсутствуют, т.к. их содержание на поверхности образца недостаточно для получения дифракционной картины, а массовые коэффициенты ослабления рентгеновских лучей выше, чем у α -железа.

Сравнение интенсивности рентгеновских линий с одинаковыми индексами у образцов после ЭИП с аналогичными линиями образца-свидетеля позволило установить, что полирование при напряжении 250 В в электролите, содержащем только сульфат аммония, приводит к растворению преимущественно ферритной составляющей, мартенситная фаза растворяется менее интенсивно. При напряжении 300 В происходит значительное растворение феррита, однако мартенситные линии на рентгенограмме также несколько возрастают. При напряжении 450 В растворяются как феррит, так и мартенсит, но феррит более интенсивно. На исследованных режимах ЭИП растворение α -железа происходит неравномерно по различным кристаллографическим плоскостям. Введение в электролит ОКО позволило выровнять скорости растворения феррита и мартенсита по всем кристаллографическим плоскостям. При напряжениях 250 и 300 В мартенситное расщепление линий не исчезает, следовательно, феррит и мартенсит растворяются с одинаковыми скоростями. При напряжении 450 В вследствие активного растворения одновременно по всем плоскостям расщепление линий исчезает, но положение линий не изменяется.

При исследовании поверхности образцов № 1...№ 4 и № 6, № 7 с помощью оптического микроскопа на ней в микролунках видны мелкие светлые зерна, равномерно распределенные по всему полю (рис.1).

Для определения химического состава этих зерен был проведен металлографический анализ стали 20Х13. При избирательном электрохимическом травлении поверхности стали 20Х13 в течение 10 сек. в 5 % водном растворе хлорида натрия при напряжении 5 В и силе тока 1 А на поверхности образца образуются микролунки, внутри которых видны светлые кристаллы правильной кубической или треугольной формы аналогичные тем, какие появляются в микролунках на поверхности образцов после ЭИП. При последующей обработке в растворе А, содержащем 1...25 г хлорного железа, 1...50 мл соляной кислоты и 100...120 мл воды, мелкие светлые зерна избирательно окрашивались. Повторная обработка поверхности образца в растворе Б, содержащем 20 г хлорного железа, 1...2 мл азотной кислоты и 100 мл соляной кислоты, позволила выявить структуру феррита и мартенсита. Других структурных составляющих при исследовании стали 20Х13 не обнаружено.

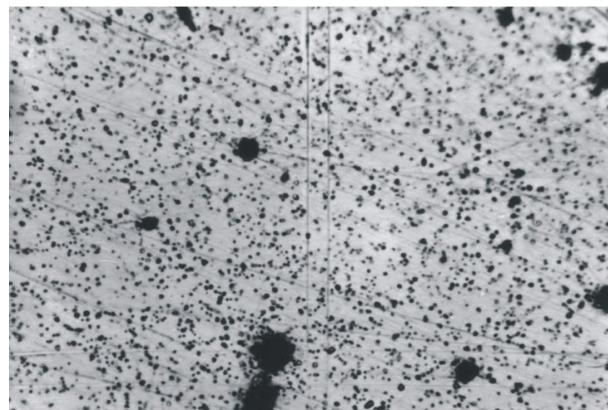


Рис. 1. Поверхность стали 20Х13 после ЭИП (x500)

Для определения фазового состава мелких светлых кристаллов и крупных зерен правильной формы методом избирательного травления в растворе Б с поверхности образца была растворена часть феррита и мартенсита. При этом на поверхности образца остались мелкие светлые кристаллы и крупные зерна правильной формы (рис. 2). После этого была получена рентгенограмма, на которой появились линии, не относящиеся к α -железу и мартенситу. Эти структурные составляющие, фазовый состав которых приведен в таблице 3, и дают рентгеновскую дифракционную картину. Таким образом, мелкие светлые кристаллы, расположенные внутри зерен феррита и мартенсита – это цементит Fe_3C , а крупные зерна правильной формы – это карбид хрома Cr_{23}C_6 .

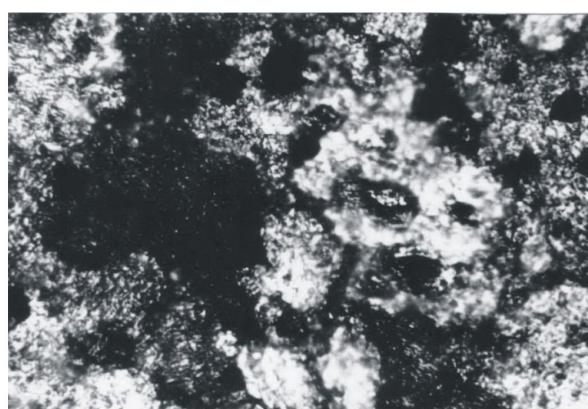


Рис. 2. Микроструктура поверхности стали 20Х13 после избирательного травления (x800)

Таблица 3. Фазовый состав карбидных составляющих структуры стали 20Х13

Угол дифракции, 2θ	Межплоскостное расстояние, d	Фаза
38,16	2,360	Fe_3C , Cr_{23}C_6
39,45	2,280	Fe_3C
40,50	2,220	Fe_3C
41,85	2,159	Cr_{23}C_6
44,50	2,030	Fe_3C , Cr_{23}C_6
48,70	1,866	Fe_3C , Cr_{23}C_6
51,00	1,786	Fe_3C , Cr_{23}C_6

Следует отметить, что ЭИП стали 20Х13 при напряжении 450 В приводит к питтинговой коррозии. Центрами растворения является цементит, вокруг которого интенсивно растворяется феррит.

Съемка рентгенограмм поверхности образцов из стали 12Х18Н10Т проводилась в СоК_α излучении. Составы электролитов и режимы ЭИП приведены в таблице 4.

Таблица 4. Составы электролитов и режимы ЭИП образцов из стали 12Х18Н10Т

Номер образца	Состав электролита	Концентрация электролита *, мас. %	Температура электролита, °C	Напряжение обработки, В
1	(NH ₄) ₂ SO ₄	4	70	250
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	4	70	450
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + ОКО ***	4 + 0,5	70	250
4	(NH ₄) ₂ SO ₄ + ОКО ***	4 + 0,5	70	450
5**	—	—	—	—

Примечание: * вода остальное; ** образец – свидетель после механического полирования; *** ОКО – органический комплексообразователь.

Фазовый состав образца-свидетеля приведен в таблице 5. Данные таблицы показывают, что основная фаза стали 12Х18Н10Т – это γ-железо или твердый раствор углерода в γ-железе, т.е. аустенит, а вторая фаза – это α-фаза, т.е. мартенсит или феррит.

Таблица 5. Межплоскостные расстояния и фазовый состав поверхности образца № 5

Угол дифракции, 2θ	Межплоскостное расстояние, d	Фаза
51,20	2,078	γ-фаза
52,33	2,030	α-фаза
59,80	1,800	γ-фаза
89,66	1,270	γ-фаза
111,45	1,080	γ-фаза

Сравнительный анализ дифракционных линий образцов № 1...№ 4 показал, что после ЭИП исчезают линии α-железа. Интенсивность линий γ-железа у образцов № 1 и № 3, полированных при напряжении 250 В, несколько возрастает. Следовательно, аустенит не разрушается, а растворяется только α-железо, находящееся на поверхности образца. При напряжении 450 В в электролите как без добавки, так и с добавкой ОКО интенсивность линий снижается. Это значит, что начинается растворение зерен аустенита, причем его растворение происходит по разным кристаллографическим плоскостям γ-железа с разной скоростью. Связано это с различной плотностью их упаковки, а, следовательно, их разным электрохимическим потенциалом.

Исследование поверхности образцов при помощи оптического микроскопа показало, что при напряжениях 250 и 450 В на полированной поверхности избирательно окрашиваются карбиды титана (рис. 3 а).

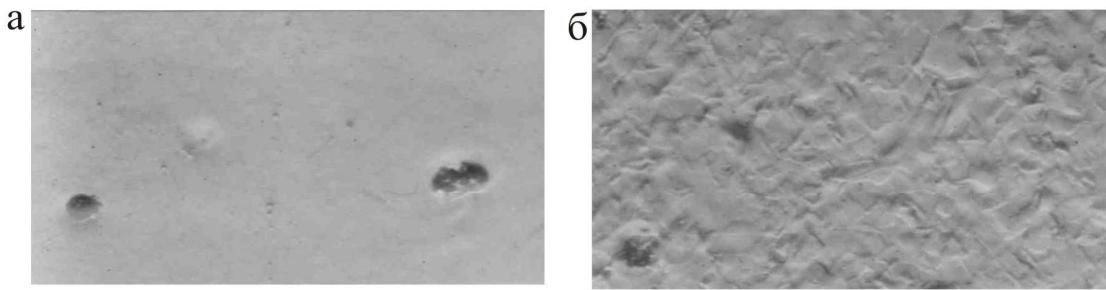


Рис. 3. Внешний вид поверхности стали 12Х18Н10Т:
а - 200В, б - 450В (x400)

Полирование при напряжении 450 В приводит к активному разрушению зерен α - и γ -железа. Топография поверхности соответствует рельефу растворенных зерен феррита и аустенита (рис. 3 б).

Выводы:

1. Установлено избирательное растворение феррита при ЭИП стали 20Х13 на разных режимах в однокомпонентном электролите. Для выравнивания скоростей растворения феррита и мартенсита следует использовать электролиты с добавкой ОКО.

2. ЭИП стали 12Х18Н10Т в одно- и двухкомпонентном электролитах носит одинаковый характер, однако скорость растворения структурных составляющих в электролите с добавкой ОКО выше. “Рябь” на обработанной поверхности обусловлена избирательным растворением α -железа, карбидов и неравномерным растворением аустенита по разным кристаллографическим плоскостям.

3. Для мартенситных и аустенитных коррозионно-стойких сталей наилучшее качество поверхности обеспечивается при напряжении обработки 250...300 В.

Список литературы: 1. Метод электроимпульсного полирования металлов / Е.Я. Головкина, С.Н. Терехов, Ю.В. Синькович, О.И. Авсеевич // Машиностроение. – Минск, 1988. – Вып.13. – С. 40 – 43. 2. Хмыль А.А., Достанко А.П., Анисимович В.Г., Чижик С.А. Влияние метода полирования стали на шероховатость и эксплуатационные свойства контактных поверхностей // Трение и износ, 17 (1996), № 4, с. 491 – 496. 3. Исаевич Л.А., Алексеев Ю.Г., Королев А.Ю. Исследование процесса получения высокопрочной проволоки из стали 12Х18Н10Т волочением с электролитно-плазменной обработкой поверхности // Вестник БНТУ, № 6, 2005, с. 30 – 33. 4. Синькович Ю.В. Электроимпульсное полирование деталей из коррозионностойких и углеродистых конструкционных сталей: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.03.01; 05.02.08 / Ю.В. Синькович; Белорус. государств. политехн. акад. – Минск, 1998. – 23 с. 5. Синькович Ю.В. Формирование качества поверхности при электроимпульсном полировании коррозионностойких сталей // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международн. сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 2001, Вып. 17. – С. 231 – 236. 6. Лазаренко Б.Р., Фурсов С.П., Факторович А.А., Галанина Е.К., Дураджи В.Н. Коммутация тока на границе металл-электролит. – Кишинев : Ред.- изд. отд. АН МССР, 1971. – 74 с. 7. Грилихес С.Я. Обезжикирование, травление и полирование металлов / Под ред. П.М. Вячеславова. - Л.: Машиностроение, 1983. - 101 с.

Сдано в редакцию 12.01.09