

Таблица 3 – Влияние плотности тока, температуры и концентрации гипофосфита натрия в электролите на степень блеска покрытий Ni-P, полученных из метансульфонатного электролита.

Концентрация гипофосфита натрия в электролите, моль/л	Степень блеска, %			
	температура, К			
	313		333	
	плотность тока, А/дм ²		плотность тока, А/дм ²	
	2	3	2	3
0	3	2	3	6
0,03	30	29	9	13
0,05	30	-	16	30

Таким образом, установлено, что увеличение концентрации гипофосфита натрия и температуры приводит к повышению физико-химических свойств покрытий Ni-P, что связано с увеличением содержания фосфора в осадках.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.M.V. Parente, O.R. Mattos, S.L. Diaz, P. Lima Neto, F.J. Miranda Fabri / Electrochemical characterization of Ni-P and Ni-Co-P amorphous alloy deposits obtained by electrodeposition // J. Appl. Electrochem., V.31 – 2001. – P.677.

2. Данилов Ф И., Ткач И.Г., Скнар И.В., Скнар Ю.Е. / Гальвано-покрытия сплавом Ni-Co, полученные из метансульфонатных электролитов // Физикохимия поверхности и защита материалов, Т.50 – 2014. – С.535.

3. Frank C.Walsh, Carlos Ponce de Leon, Versatile electrochemical coatings and surface layers from aqueous methanesulfonic acid, Surf. Coat. Tech., V.259 – 2014. – P.676.

4. Богеншютц, А.Ф. Электролитическое покрытие сплавами. Методы анализа / А.Ф. Богеншютц, У. Георге. – М.: Металлургия, 1980. – 192 с.

УДК 620.193.01

Дьяков И.Г., доц., канд. техн. наук;
Севостьянова В.С. ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук
(Костромской Государственный Университет (КГУ), г. Кострома, Россия)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 20

Сталь 20 является малоуглеродистой, поэтому её поведение после анодной плазменно-электролитической обработки (ПЭО) определяется в основном свойствами насыщенного поверхностного слоя.

Для других средне- или высокоуглеродистых сталей после ПЭО кроме поверхностного слоя при испытаниях важную роль также будет играть прокаленный подслоя, толщина которого больше, чем модифицированного. Поэтому сталь 20 представляется хорошим модельным материалом для изучения закономерностей модифицирования поверхности стальных изделий и их свойств при испытаниях на трение и коррозию при анодной ПЭО. Задачами работы было исследование возможности анодной плазменно-электролитной обработки стали 20 в электролите, содержащем нитрат аммония, азотную кислоту и глицерин, а также исследование коррозионной стойкости и износостойкости модифицированной поверхности.

Анодная плазменно-электролитная обработка проводилась в растворе, содержащем 50 г/л нитрата аммония, 50 г/л азотной кислоты и 100 г/л глицерина. Для исследования использовались образцы из ст20 в виде цилиндров диаметром 12 мм и высотой 15 мм. Образцы подвергались насыщению при постоянной температуре из интервала 600 – 900 °С с шагом 100 °С в течении 5 минут с последующей закалкой в электролите при отключении напряжения на электролизере.

Трибологические испытания (коэффициент трения и массовый износ) модифицированных поверхностей проводили на машине трения УМТ-01 по схеме «шарик-диск» с нормальной нагрузкой в 55 Н. Скорость скольжения составляла 0,24 м/с. В качестве контртела использовали шарик ШХ15.

Поляризационные кривые снимались при помощи потенциостата-гальваностата ICP PRO M. Коррозионной средой выступал 0,1 н. раствор сульфата натрия. Перед записью поляризационной кривой образцы выдерживались в растворе до установления потенциала разомкнутой цепи до стационарного значения. Развертка потенциала осуществлялась от потенциала на 250 мВ ниже потенциала разомкнутой цепи со скоростью 1 мВ/с.

Визуальный контроль образцов до и после обработки, а также измерение убыли массы в результате ПЭО показали, что качество покрывающего их внешнего оксидного слоя, а также его толщина зависят от температуры обработки. Оксидный слой, образовавшийся при низких температурах насыщения 600 – 700 °С не толстый, достаточно темный, обладающий хорошей сплошностью и адгезией, немного зеркальный. Высокие температуры обработки привели к образованию толстых (по убыли массы) внешних оксидных слоев, разных по своему поведению и свойствам. При 800 °С внешний слой получился матовый, сплошной, визуально хорошо прилегающий к поверхности, но отвалившийся при удалении липкой лентой. Самый

высокотемпературный слой совсем матовый, отшелушивается с образца. Убыль массы, измеренная сразу после обработки, а также после снятия внешнего оксидного слоя липкой лентой, показаны на рисунке 1. полученные данные подтверждают сказанное выше о толщине оксидного слоя.

Результаты исследования показали зависимость шероховатости обработанной поверхности от температуры обработки, так как образование оксидного слоя является следствием двух параллельных процессов: растворение железа с поверхности детали и образование оксидного слоя в ходе химических и электрохимических реакций на поверхности.

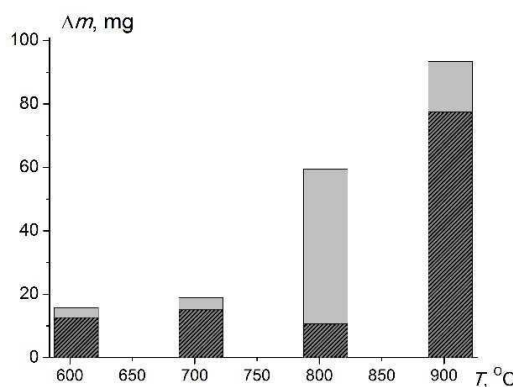


Рисунок 1 - Убыль массы образцов в результате ПЭО до и после снятия оксидного слоя липкой лентой, обработанных при разной температуре

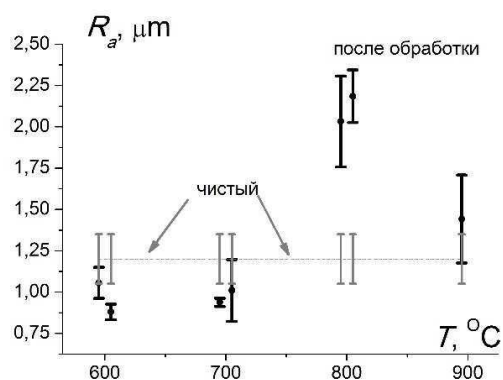


Рисунок 2 - Шероховатость поверхностного слоя для разных температур обработки

Исследование трибологических характеристик модифицированной поверхности показало снижение массового износа в результате обработки для всех температур насыщения. При этом коэффициент трения в результате обработки остался на том же уровне, что и у необработанного образца (рисунок 3). Такое взаимное поведение коэффициента трения и массового износа наблюдалось ранее при анодном плазменно-электролитном насыщении азотом и углеродом малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей [1].

Трибологические свойства поверхности исследовали как с оксидным слоем, оставшимся после удаления его части липкой лентой, так и при удалении его шлифовальной шкуркой №400. При наличии оксидного слоя на образце, его массовый износ при трении сильно зависит от характеристик этого слоя. После удаления оксидного слоя, когда трению подвергается только модифицированный слой, величина износа почти не зависит от температуры

обработки и снижается примерно в четыре раза по сравнению с износом необработанного образца.

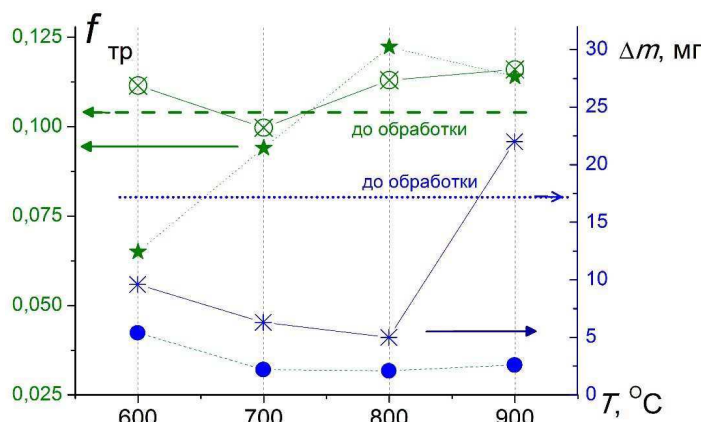


Рисунок 3 - Коэффициент трения $f_{тр}$ (★, ⊗) и массовый износ Δm (*, ●) образцов ст20, обработанных при разных температурах, с оксидным слоем (*, ⊗) и без него (★, ●)

Исследование коррозионных характеристик также проводилось для образцов с оксидным слоем и после его механического удаления (таблица 1).

Таблица 1 - Зависимость коррозионных характеристик слоя от температуры обработки

Температура обработки, °C	С оксидным слоем		Без оксидного слоя	
	ток коррозии, мкА/см ²	потенциал коррозии, мВ	ток коррозии, мкА/см ²	потенциал коррозии, мВ
600	22	- 485	9,6	-510
700	21,7	- 605	9,4	-611
800	2,2	-512	6,1	-685
900	13	-697	15,3	-449
до обработки	18,8	-464		

Температурные зависимости для тока и потенциала коррелируют с результатами трибологических исследований. Плотность тока коррозии образцов без удаления оксидного слоя нелинейно зависит от температуры обработки и имеет минимум 2,2 мкА/см² при температуре насыщения 800 °C. После механического удаления оксидного слоя при низких для процесса насыщения температурах плотность тока коррозии снижается и мало зависит от температуры обработки, а определяется величиной удаления модифицированного слоя с поверхности. В данном случае можно предположить, что на образце, обработанном при температуре 800 °C, поверхностный оксидный слой механически был удален меньше, чем при двух других температурах. При температуре 900 °C процессы азотирования подавлены, а основным

является цементация, поэтому рост плотности тока коррозии при этой температуре насыщения связан с увеличением концентрации углерода в поверхностном слое.

Таким образом, проведено исследование коррозионных и трибологических свойств стали 20, модифицированной плазменно-электролитическим методом в растворе, содержащем нитрат аммония, азотную кислоту и глицерин, в зависимости от температуры обработки. Показано, что коэффициент трения практически не зависит от температуры обработки, и принимает примерно те же значения, что и до обработки. Массовый износ при этом снижается примерно в 4 раза для всех температур обработки. Выявлено, что ток коррозии модифицированной поверхности зависит от температуры, если не удалять оксидный слой, и мало изменяется после механического удаления оксидного слоя. Минимальное значение плотности тока коррозии $2,2 \text{ мкА/см}^2$ наблюдается при температуре насыщения 800°C при наличии оксидного слоя на поверхности образца.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (контракт № 15–13–10018) Костромскому государственному университету.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кусманов С.А., Наумов А.Р., Паркаева Ю.В., Белкин П.Н. Анодное электролитно-плазменное насыщение малоуглеродистых сталей азотом и углеродом // Физика и химия обработки материалов. 2013. №6. С. 47-53.

УДК 621.791

Силкин С.А., Смирнов А.А., Плюснина Е.Н.
(Костромской Государственный Университет, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT22 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Электролитно-плазменное насыщение металлов и сплавов легкими элементами вызывает значительный интерес благодаря своим преимуществам [1]. Обрабатываемые детали не требуют предварительной подготовки. Непрерывное движение среды в парогазовой оболочке обеспечивает быстрый подвод насыщающих компонентов к обрабатываемой детали и удаление продуктов реакций. Благодаря особенностям метода достигаются высокие скорости нагрева, что предотвращает рост зерна и связанное с этим ухудшение свойств. Кроме того, малая толщина оболочки способствует быстрой стабили-