

Ж. И. Михальцевич, инж. каф. Х,ТЭХПиМЭТ  
И. В. Макарова, ассист. каф. Х,ТЭХПиМЭТ  
А. А. Черник, зав. кафедрой Х,ТЭХПиМЭТ  
БГТУ, г. Минск

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Электрохимическое полирование (ЭХП) применяют для подготовки поверхности изделия под нанесение гальванических покрытий, удаления заусенцев и округления острых кромок, удаление оксидных пленок, окалина небольшой толщины и дефектных покрытий, а также для очистки поверхности от органических и минеральных загрязнений [1]. Различают механическое, химическое и электрохимическое полирование. Достоинством электрохимического полирования является высокое качество и производительность. Перспективным методом ЭХП поверхностей металла является полирование в импульсном режиме. Преимущество применения импульсного режима электролиза состоит в наибольшей гибкости процесса, которая обусловлена появлением значительно большего количества независимых параметров, контролирующих процесс осаждения (импульсы и паузы, катодные и анодные плотности тока) по сравнению с электролизом без наложения пауз. Это расширяет возможности управления процессом и дает возможность получать покрытия с требуемыми свойствами. Достоинством ЭХП является возможность обработки деталей сложных конфигураций, достижения параметра шероховатости до 0,01 мкм, возможность полной автоматизации процесса [2].

Цель работы – исследование влияния полирования в импульсном режиме на коррозионные свойства нержавеющей стали.

В качестве объекта исследования была выбрана коррозионно-стойкая сталь 03X18H11. Полирование осуществляли в электролитах с мас. %:  $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{SO}_4$ –50:50, в качестве ингибиторов травления использовали №1 – молочная кислота; №2 – винная кислота; №3 – уротропин. Электрополированию в стационарном и импульсном режимах (время импульса 2 с, время паузы 1 с) подвергались плоские образцы размерами 30×25×2 с исходной шероховатостью поверхности  $R_a$  0,25–0,4 мкм, которая обеспечивалась шлифованием наждачной бумагой с размером зерна 28–40 мкм. Электролиз осуществляли при помощи источника питания Kraft Flex. Для предотвращения местного

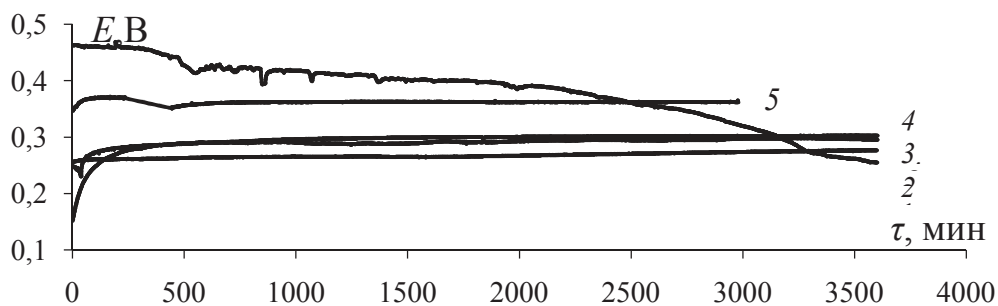
перегрева электролит перемешивался магнитной мешалкой. Параметры шероховатости измерялись с помощью профилографа-профилометра Абрис ПМ 7. Температура поддерживалась с помощью водяной бани БВ-04. Величину съема металла определяли гравиметрическим методом. Проверили склонность отполированных в оптимальных условиях образцов к питтинговой коррозии химическим и электрохимическим методами. Химический метод заключался в опускании образца в раствор, содержащий 3%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и 2%  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  при  $T=30^\circ\text{C}$  на один час, после чего фиксировали убыль массы и скорость коррозии. При определении склонности нержавеющей стали к питтинговой коррозии электрохимическим методом снимали АПК в потенциодинамическом режиме при скорости развертки 5 мВ/с.

Склонность к питтингообразованию, определенная на стали полированной в стационарном и импульсном режиме, представлена в табл. 1.

**Таблица 1 – Изменения массы образцов после питтинговой коррозии, отполированной нержавеющей стали 03X18H11 при времени электролиза 17 мин**

Вид ингибитора	$\Delta m$ , г/м <sup>2</sup>	K, г/(м <sup>2</sup> ·год)	Количество очагов коррозии	$E_{\text{по}}$ , В
<i>Импульсный электролиз</i>				
Винная кислота	1,54	92,72	2	0,84
Уротропин	0,54	32,72	2	0,93
Молочная кислота	1,36	81,81	2	0,84
<i>Стационарный электролиз</i>				
Винная кислота	2,45	180,3	5	1,06
Уротропин	2	89,36	2	1,55
Молочная кислота	1,91	95,85	3	1,43
<i>Исходная поверхность</i>				
–	1,91	96,72	3	–

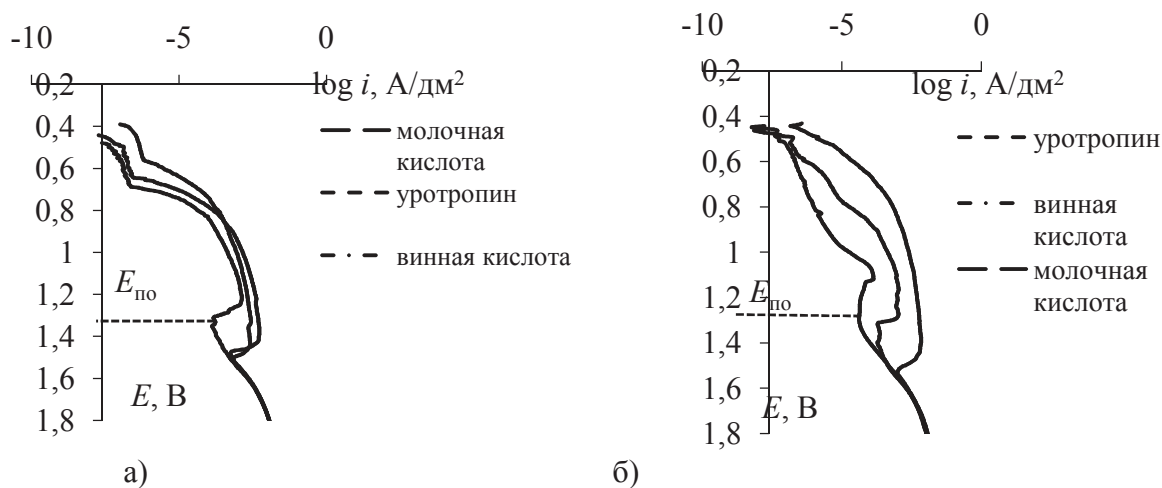
На рис. 1 представлена зависимость потенциала от времени выдерживания электрохимически полированной стали 03X18H11 в 3% растворе NaCl.



1 – исходная поверхность; 2 – 7 мин импульс; 3 – 3 мин стационар;  
4 – 3 мин импульс; 5 – 7 мин стационар.

**Рисунок 1 – Зависимость потенциала от времени выдерживания в 3% NaCl электрохимически полированной стали 03X18H11**

Согласно рис. 2 на исходном образце идет активное растворение и потенциал в течении часа не устанавливается постоянный. В отполированных образцах потенциал устанавливается постоянным в течение 600сек (10 минут). Склонность сплавов к питтинговой коррозии электрохимическим методом устанавливают по потенциалу питтингообразования, определенному с помощью поляризационных кривых рисунок 1.



а) – импульсный режим; б) – стационарный режим  
**Рисунок 2 – Потенциодинамические анодные кривые**

Поверхность, отполированная в режиме стационарного электролиза в растворе с добавлением винной кислоты, в 2,5 раза больше подверглась питтинговой коррозии, чем в режиме импульсного электролиза. Рассчитанные по поляризационным кривым токи коррозии увеличиваются при увеличении времени электролиза и составили 0,20-0,73 нА/см<sup>2</sup>.

Для оценки коррозионной стойкости полученных отполированных образцов снимали спектры импеданса в течение 15 мин после погружения образцов в 0,3% раствор NaCl. В таблице 2 представлены параметры эквивалентной схемы спектров импеданса. Постепенное увеличение радиуса импедансных спектров во времени свидетельствует о возрастании коррозионной стойкости отполированных образцов. На диаграммах Бode для фазового угла  $\theta$  в области средних частот присутствует широкий пик, что свидетельствует о высокой стойкости стали. На диаграммах для модуля импеданса видно, что сопротивление переноса заряда всех исследуемых сталей (область низких частот) находится в диапазоне  $4 \times 10^4 - 2 \times 10^6$  Ом/см<sup>2</sup>.

**Таблица 2 – Параметры эквивалентной схемы для отполированных образцов, полученных из исследуемых электролитов при выдерживании в 3% NaCl**

Вид ингибитора	$R_s$ , Ом/см <sup>2</sup>	$R_l$ , Ом/см <sup>2</sup>	$Y_0$ , Ф/см <sup>2</sup>	$N_l$	$R_2$ , Ом/см <sup>2</sup>	$Y_{02,2}$ , Ф/см <sup>2</sup>	$N_2$
Винная кислота	6726	$4,4 \cdot 10^5$	$2,36 \cdot 10^{-5}$	0,84	–	–	–
Молочная кислота	10	$1,6 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,9	$1,2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,96
Уротропин	11	$1,44 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,9	–	–	–
Исходная поверхность	2561	$4,5 \cdot 10^4$	$2,56 \cdot 10^{-5}$	0,85	$4,05 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,56

Таким образом, применение стационарного и импульсного электролиза приводит к модификации поверхности нержавеющей стали, уменьшается количество очагов питтинговой коррозии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chandrasekar, M.S. Pulse and reverse plating – Conceptual, advantages and applications / M.S. Chandrasekar, M. Pushpavanam // *Electrochimica Acta.* – Vol. 53. – 2008. – P. 3313–3322.

2. Chi-Cheng, Lin Electropolishing of 304 stainless steel: Interactive effects of glycerol content, bath temperature, and current density on surface roughness and morphology/ Lin Chi-Cheng, Hu Chi-Chang, Lee Tai-Chou // *Surface and Coatings Technology*, Vol. 204. – 2009. – P. 448–454.

УДК 621.793

Н.А. Харламова, ген. директор  
Н.Г. Дидковский, гл. инж. проектов  
(ООО «Гальваносервис», г. Санкт-Петербург)  
Тел.: +7 (812) 325-00-81, +7 (931) 540-04-70  
E-mail: [galservice@bk.ru](mailto:galservice@bk.ru), [www.galservice.ru](http://www.galservice.ru)  
195009, Россия, Санкт-Петербург, улица Комсомола 1-3

### СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОНОМИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ

Санкт-Петербургское предприятие «Гальваносервис» представляет на территории Таможенного союза современные экономичные технологии и технологические составы для всех распространенных гальванохимических технологических процессов.

Производитель технологических составов для нанесения покрытий Galvano mondo (Турция) осуществляет изготовление и поставки химической продукции более чем в 35 стран мира с 1970 года. Сайт компании Galvano mondo [www.galvanomondo.com](http://www.galvanomondo.com)