

# **ВЛИЯНИЕ БИПОЛЯРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ**

**Ю. Г. Алексеев<sup>1</sup>, А. Э. Паршутю<sup>1</sup>, А. Ю. Королев<sup>1</sup>,  
В. С. Нисс<sup>2</sup>, Е. В. Сорока<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь,  
тел./факс: +375 17 292-25-98, e-mail: korolyov@metolit.by*

*<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
тел.: +375 17 296-67-22, e-mail: niss@metolit.by*

Важнейшим условием получения качественных покрытий является выполнение соответствующих состоянию поверхности подготовительных операций. Электрохимическое полирование поверхности металлов и сплавов является в настоящее время одним из наиболее прогрессивных процессов подготовки поверхности для нанесения покрытий. Это связано с рядом существенных преимуществ процесса по сравнению с механическими методами финишной обработки. Одним из недостатков электрохимического полирования является зависимость электрических режимов обработки и составов электролита от типа обрабатываемого материала.

Для электрохимического полирования на постоянном токе применяются агрессивные, дорогостоящие электролиты, требующие специальных технологий по утилизации. В связи с этим работы, направленные на разработку и исследование методов электрохимической обработки, обеспечивающих качественное полирование и очистку поверхности с применением нетоксичных, экологически безопасных и дешевых электролитов, являются актуальными как в научном, так и в практическом плане. Такого рода результаты возможны за счет применения миллисекундных импульсов положительной и отрицательной поляр-

ности, которые при правильном выборе параметров позволяют добиться эффективного полирования и очистки поверхности при электрохимической обработке в экологически безопасных электролитах и с малыми энергетическими затратами.

Схематическое представление импульсов положительной и отрицательной полярности прямоугольного импульсного тока представлено на рис. 1. Для оценки влияния вида технологического тока на качество обработки применялись следующие электрические параметры: постоянный ток, импульсный ток положительной полярности и биполярный ток. Плотность тока составляла  $0,8 \text{ A/cm}^2$  для всех режимов обработки. Продолжительность обработки – 240 с.

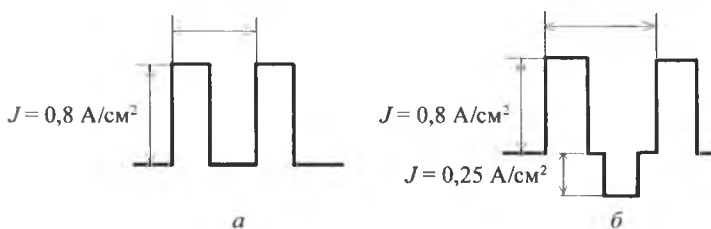


Рис. 1. Диаграммы амплитуды и длительности импульсов тока: *а* – импульсный ток положительной полярности; *б* – импульсный биполярный ток

В качестве электролитической ячейки использован стеклянный химический стакан объемом 1000 мл. Цилиндрический противоэлектрод диаметром 100 мм изготовлен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Подогрев электролита в электролитической ячейке осуществлялся электрическим нагревателем с магнитной мешалкой. Контроль температуры электролита обеспечивался электронным термометром. Экспериментальные образцы изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т в виде пластин с размерами  $12 \times 32 \times 1$  мм.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Состояние поверхности образцов до и после обработки оценивалось с помощью электронного микроскопа Vega Tescan. Контроль

и запись формы импульсов тока осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом С8-46/1. Измерение коэффициента отражения производилось с применением разработанной нами методики, основанной на измерении яркости параллельного пучка света, отраженного от исследуемой поверхности. За отражение 100% принималась поверхность эталонного оптического зеркала.

По результатам предварительных исследований установлено, что наилучшее качество поверхности при обработке коррозионностойких сталей обеспечивается при использовании базового электролита ( $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 48%,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 23%, глицерин  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  – 24%) с добавлением к нему 5%  $\text{H}_2\text{O}$  (об.).

В таблице представлены полученные экспериментальные данные об энергетических характеристиках процесса электрохимического полирования коррозионностойких сталей и свойствах поверхности для различного вида тока.

**Влияние вида тока на энергетические характеристики и свойства поверхности при электрохимическом полировании коррозионностойкой стали**

Параметр	Постоянный ток	Положительные импульсы	Биполярные импульсы
Удельная энергия, Дж/см <sup>2</sup>	1,86	0,93	0,82
Снижение массы образца $\Delta m$ , %	1,34	0,66	0,57
Снижение шероховатости Ra, мкм	0,035	0,046	0,061
Увеличение коэффициента отражения, %	863,43	454,75	307,02
Удельные затраты энергии на снижение шероховатости $Q_{Ra}$ , (Дж/см <sup>2</sup> )/мкм	43,94	11,87	9,28
Удельные затраты энергии на снижение коэффициента отражения $Q_p$ , (мДж/см <sup>2</sup> )/%	2,15	2,05	2,67

На рис. 2–4 приведены сравнительные диаграммы, характеризующие влияние вида тока (постоянный ток, положительные импульсы, биполярные импульсы) на массовый съем металла, удельные затраты энергии  $Q_{Ra}$  на снижение шероховатости Ra

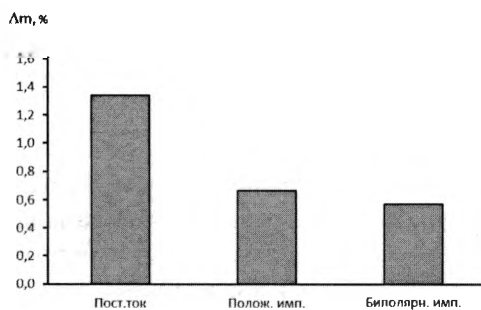


Рис. 2. Снижение массы образца при различных видах технологического тока

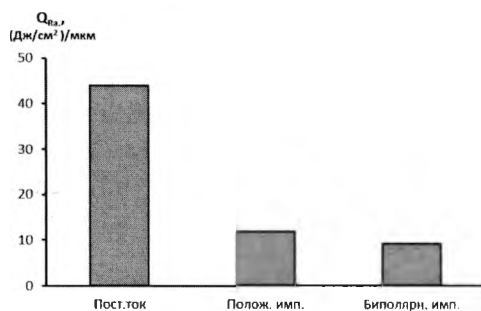


Рис. 3. Удельные затраты энергии на снижение шероховатости поверхности при различных видах технологического тока

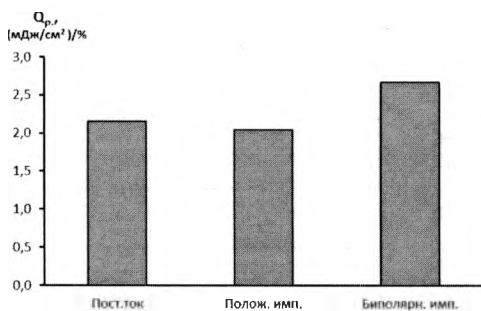


Рис. 4. Удельные затраты энергии на повышение коэффициента отражения поверхности при различных видах технологического тока

на 1 мкм и удельные затраты энергии  $Q_p$  на увеличение коэффициента отражения на 1%.

Из полученных данных видно, что применение импульсных режимов обработки позволяет по сравнению с постоянным током снизить в 2–2,2 раза общий съём металла, необходимый для уменьшения параметра шероховатости на одну и ту же величину. Однако удельные затраты энергии на повышение коэффициента отражения при использовании импульсных режимов отличаются незначительно от аналогичных затрат при использовании постоянного тока (рис. 4). Использование только положительных импульсов позволяет снизить эти энергозатраты на 4,6%. При использовании биполярных импульсов энергозатраты, требуемые для повышения коэффициента отражения, увеличиваются на 24,2%.

Дальнейшие исследования проводились с целью установления влияния продолжительности процесса электрохимического полирования для разных видов тока на изменение удельного массового съема, коэффициента отражения и шероховатости поверхности. Результаты представлены на рис. 5–7.

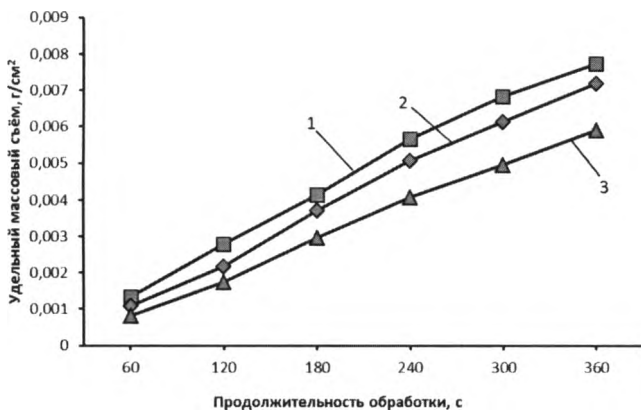


Рис. 5. Зависимость удельного массового съема от продолжительности обработки и вида тока: 1 — постоянный ток; 2 — положительные импульсы; 3 — биполярные импульсы

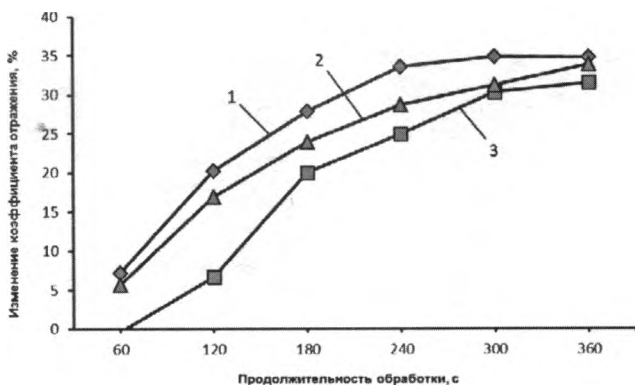


Рис. 6. Зависимость коэффициента отражения от продолжительности обработки и вида тока: 1 – постоянный ток; 2 – положительные импульсы; 3 – биполярные импульсы

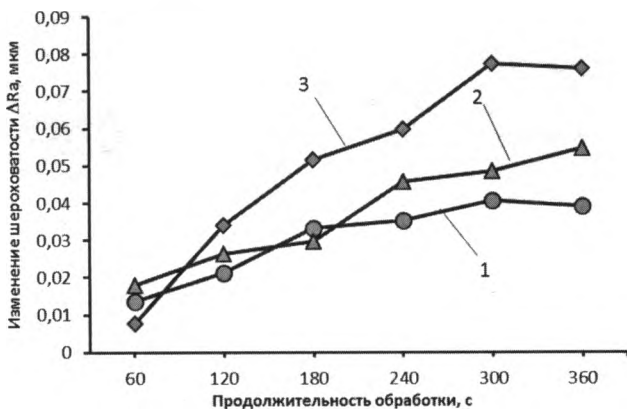
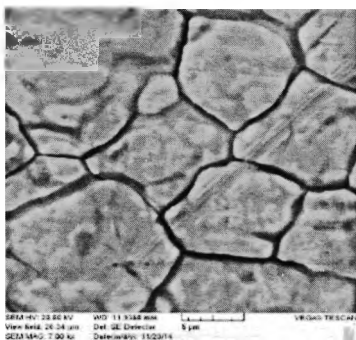
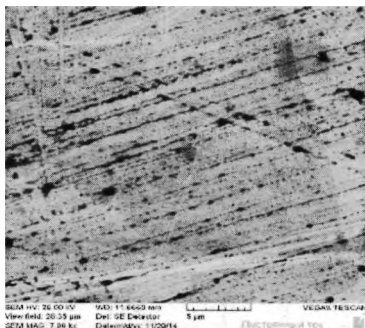


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от продолжительности обработки и вида тока: 1 – постоянный ток; 2 – положительные импульсы; 3 – биполярные импульсы

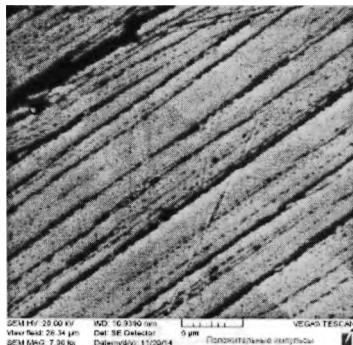
Анализ зависимостей, представленных на рис. 6 и 7, показывает, что наиболее существенное повышение коэффициента отражения и снижение шероховатости поверхности происходит



*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 8. Электронно-микроскопические фотографии поверхности образца при различных режимах обработки: *a* – без обработки; *б* – постоянный ток; *в* – положительные импульсы; *г* – биполярные импульсы.  $\times 2500$

дят при электрохимической обработке продолжительностью до 5 мин. Дальнейшая обработка не приводит к значимому улучшению характеристик поверхности.

На рис. 8 представлены электронно-микроскопические фотографии после электрохимического полирования при различных видах технологического тока. Наиболее благоприятная морфология поверхности с минимальным количеством питтингов обеспечивается при использовании биполярных импульсов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование импульсных режимов обработки обеспечивает снижение общего съема металла по сравнению с обработкой на постоянном токе в 2–2,2 раза. При этом уменьшение удельных затрат энергии на снижение шероховатости поверхности достигает 4,7 раза. Рекомендуемая продолжительность обработки составляет 5–6 мин, поскольку дальнейшая обработка не приводит к значимому улучшению характеристик поверхности.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИРОВАНИЯ И ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

**Ю. Г. Алексеев<sup>1</sup>, А. Ю. Королев<sup>1</sup>, А. Э. Паршуто<sup>1</sup>, В. С. Нисс<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,  
Минск, Беларусь, тел./факс: +375 17 292-25-98,  
e-mail: korolyov@metolit.by*

*<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь, тел.: +375 17 296-67-22, e-mail: niss@metolit.by*

Металлические трубы имеют множество различных функций в широком спектре промышленных применений, а очистка их внутренних поверхностей является ключевым фактором, обеспечивающим надежную эксплуатацию оборудования, в состав которого они входят. Например, очистка и полирование внутренних поверхностей труб при производстве оборудования молочной, кисломолочной, мясной, рыбной, консервной и хлебопекарной продукции производится с целью повышения коррозионной стойкости и исключения микробиологического влияния на продукты. Обработка внутренних поверхностей труб в теплообменных системах выполняется с целью снижения коррозии, износа, эрозии, изъязвления, а также для удаления