

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С.

Белорусский национальный технический университет

Summary. *The research results of a new pulsed method of polishing the surface of metallic materials, combining the advantages of both electrochemical and electrolyte-plasma treatment are presented.*

Для снижения энергоёмкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменного полирования металлических материалов при сохранении высокой интенсивности, качества обработки и экологической безопасности разработан принципиально новый импульсный метод, совмещающий преимущества как электрохимической, так и электролитно-плазменной обработки. Метод реализуется за счет совмещения в пределах одного импульса миллисекундной длительности амплитудой более 200 В двух чередующихся стадий: электрохимической и электролитно-плазменной.

Высокая эффективность разработанного метода полирования достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии с низкими энергетическими затратами и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии, при которой обеспечивается высокое качество поверхности. Повышение частоты следования импульсов при снижении их длительности позволяет увеличить электрохимическую составляющую процесса и обеспечить более интенсивный съём материала заготовки, удалить значительные неровности поверхности. Снижение частоты следования импульсов при одновременном увеличении их длительности позволяет увеличить электролитно-плазменную составляющую процесса и достигнуть низкой шероховатости при общем снижении энергоёмкости процесса.

В работе исследовалось изменение удельного съёма в процессе обработки поверхности, плотности тока и длительности отдельных стадий процесса в зависимости от состава и концентрации электролита.

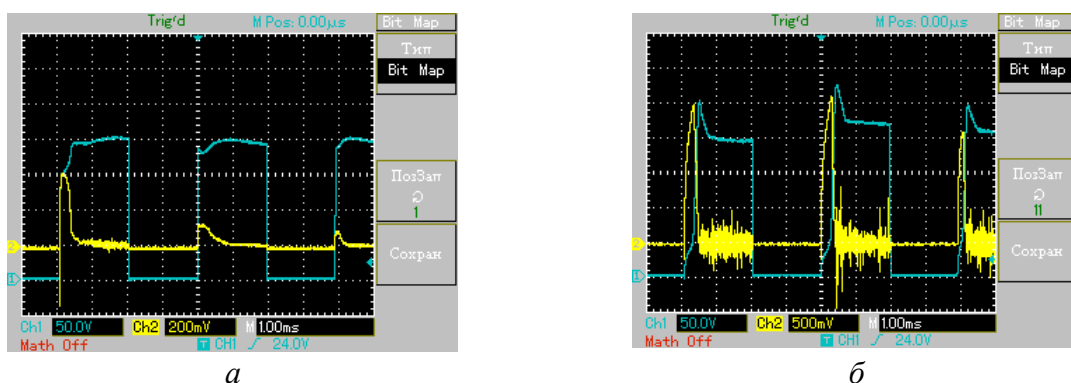
Для исследований использовался регулируемый от 0 до 300 В источник питания мощностью 12 кВт и мощный электронный ключ, позволяющий формировать импульсы тока заданной длительности амплитудой до 40 А. В качестве образцов использовались прутки из нержавеющей стали AISI 316 диаметром 2 мм. Обработка образцов выполнялась в электрохимической ячейке с катодом из коррозионностойкой стали в форме трубы диаметром 100 мм. Обрабатывался участок образца длиной 10 мм, остальная часть образца изолировалась от электролита трубкой из фторопласта.

В качестве электролитов использовались следующие растворы:

1. раствор сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40%;
2. раствор сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40% с добавкой 1% лимонной кислоты.

Температура электролита составляла 90 °С. Продолжительность обработки каждого образца – 1 мин. Электрический режим: импульсы напряжения амплитудой 200 В, длительностью 2 мс с паузами между импульсами 2 мс.

Контроль и запись формы импульсов тока осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом С8-46/1 с помощью токового шунта с сопротивлением 0,05 Ом. Примеры осциллограмм приведены на рис. 1. Электрохимический процесс в электролите при достаточно высоком напряжении, как видно на осциллограммах на рис. 3 имеет две различные стадии: электрохимическую (импульс постоянного тока), и электролитно-плазменную (высокочастотный переменный ток намного меньшей амплитуды).



а – концентрация 2%; б – концентрация 40%

Рис. 3. Осциллограммы импульсов тока (канал Ch2, масштаб шкалы осциллографа: 50 mV = 1A) и напряжения (канал Ch1) при обработке стали AISI 316 в водном растворе сульфата аммония различной концентрации

По результатам выполненных исследований установлено, что с повышением концентрации электролита съём увеличивается. Этим обработка с применением управляемых импульсных режимов существенно отличается от традиционной электролитно-плазменной обработки, при которой съём практически не зависит от концентрации электролита. Так, при традиционной электролитно-плазменной обработке плоского образца съём металла на 1 мм² площади его поверхности составляет $3,3 \cdot 10^{-6}$ г/(мм²·мин) (обработка в 4% растворе сульфата аммония при температуре 90 °С и напряжении 300 В). При обработке цилиндрического образца диаметром 2 мм, удельный съём составил $2,12 \cdot 10^{-5}$ г/(мм²·мин). Съём при комплексной электрохимической и электролитно-плазменной импульсной обработке в три раза больше даже при малой концентрации электролита (4%), когда ещё нет режима полирования. В режиме полирования при концентрации 40% съём больше в шесть раз по сравнению с режимом традиционной электролитно-плазменной обработки.

Добавление лимонной кислоты уменьшает съём металла при обработке, при этом существенно не влияет на качество полирования. Повышение концентрации сульфата аммония с 2 до 40 % приводит к изменению значения плотности тока обработки: для электрохимической стадии от 4–12 А/см² при 2% до 45–64 А/см² при 40 %; для электролитно-плазменной стадии от 1–3 А/см² при 2 % до 13–15 А/см² при 40 %. Длительность электрохимической стадии составляет 0,5–1 мс при концентрации электролита 2–8 % и 0,2–0,4 мс при концентрации электролита 30–40 %. Длительность электролитно-плазменной стадии составляет 1,1–1,5 мс при концентрации электролита 2–8 % и 1,6–1,8 мс при концентрации электролита 30–40 %.

Примеры изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки представлены на рис. 2.



Рис. 2 – Образцы изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки