

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ПОЛИРОВАНИИ

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

The analysis of structure of an inter electrode space is given at electrochemical machining. Procedures of definition of dissipating ability of process of electro impulse polishing with which help the estimation of accuracy of machining is carried out are offered. Effect of a configuration of a work piece on width of a steam-gaseous environment is investigated. Experimentally resolving effect of a steam-gaseous environment on accuracy of machining proved at electro impulse polishing

Введение

Для электрохимических методов обработки обеспечение точности является одной из сложнейших задач. Неравномерный съем металла на различных участках сложнопрофильной поверхности детали напрямую связан с пространственно-временной эпюрой локальных скоростей анодного растворения металла и в общем случае характеризуется распределением плотности электрического тока на обрабатываемой поверхности. На распределение электрического тока оказывает влияние ряд трудно учитываемых факторов – расположение электродов относительно друг друга и относительно стенок электролитической ячейки, форма и размер электродов и ячейки, величина поляризации электродов, электропроводность электролита, гидродинамические явления и другие. Эти факторы могут действовать как взаимосвязано, так и без взаимного влияния. При электроимпульсном полировании (ЭИП) на съем металла и точность обработки существенное влияние также оказывают физико-электрохимические характеристики парогазовой оболочки (ПГО) [1].

Целью настоящей работы является исследование влияния геометрических факторов и ПГО на точность обработки при ЭИП.

Основное содержание и результаты работы

На первом этапе исследовалось влияние ряда геометрических факторов на точность ЭИП наружных цилиндрических поверхностей.

При прохождении через электролит электрический ток на своем пути между катодом и различными участками анода встречает неодинаковое сопротивление R , которое можно представить в виде

$$R = R_{перех} + R_{эл} + R_{мет}, \quad (1)$$

где $R_{перех}$ – переходное сопротивление на границе раздела фаз электрод-электролит, равное сумме переходных сопротивлений на границах раздела фаз катод-электролит $R_{перех}^к$ и электролит-анод $R_{перех}^а$; $R_{эл}$ – сопротивление электролита и $R_{мет}$ – сопротивление металлических электродов, которое можно не учитывать из-за пренебрежительно малой величины по сравнению с остальными составляющими.

В зависимости от соотношения $R_{перех}$ и $R_{эл}$ возможно два граничных случая распределения тока на электродах:

1. При $R_{эл} \gg R_{перех}$ равномерность распределения тока минимальна и определяется в основном величиной межэлектродного расстояния;

2. При $R_{эл} \ll R_{перех}$ различия в межэлектродных расстояниях не оказывают существенного влияния на равномерность распределения тока на поверхности электродов.

Для оценки равномерности распределения тока на электродах существует ряд методик, которые можно разделить на три группы [2]:

1. Графические методы, основанные на исследовании поляризации электродов. Основной недостаток этих методов заключается в сложности снятия воспроизводимых кривых поляризации.

2. Методы построения электрического поля, сущность которых заключается в том, что в результате измерений потенциалов в различных точках электролитической ячейки строится электрическое поле в виде графика распределения эквипотенциальных и силовых линий. Эти методы характеризуются большой трудоемкостью и не обеспечивают достоверной воспроизводимости результатов.

3. Методы непосредственного изучения распределения тока на поверхности электродов. В настоящее время они получили наибольшее научно-практическое применение.

При ЭИП обработка осуществляется в электролитах с высокой электропроводностью при напряжениях более 150 В и значительных межэлектродных расстояниях. В роли переходного сопротивления на границе раздела фаз электролит-анод $R_{перех}^a$ выступает динамически устойчивая ПГО. Расчеты показывают, что отношение $R_{перех}^a / R_{перех}^к > 100$, в результате чего формулу (1) можно представить в виде

$$R \approx R_{перех}^a \quad (2)$$

С учетом формулы (2) для исследования равномерности распределения тока и съема металла при ЭИП была использована разработанная Херингом и Блюмом методика непосредственного изучения распределения тока на поверхности анода путем определения рассеивающей способности электролита [2, 3]. Термин рассеивающая способность, впервые предложенный Херингом и Блюмом, означает способность электролита перераспределять ток в электролитической ячейке в зависимости от ее геометрических особенностей, состава электролита и режима электролиза и характеризует равномерность съема металла и точность получаемых размеров. Учитывая принятые допущения, термин “рассеивающая способность” для ЭИП означает не столько рассеивающую способность электролита, сколько рассеивающую способность процесса в целом.

На рисунке 1 приведена схема устройства для определения рассеивающей способности процесса ЭИП. Электролитическая ячейка из диэлектрического материала имела форму прямоугольного сосуда. На оси ячейки размещался цилиндрический катод, по обе стороны которого на расстояниях $L_1 = 250$ мм и $L_2 = 50$ мм перпендикулярно оси ячейки размещались два разборных анода, каждый из которых состоял из семи секций. В качестве секций разборных анодов использовались цилиндрические образцы из стали 12Х18Н10Т Ø 1,5 мм. Расстояние между образцами было равно 25 мм. Обработка велась в течение 10 мин. при напряжении $310 \pm 0,5$ В и температуре электролита 80 ± 2 °С. До и после обработки образцы промывали, сушили и взвешивали на аналитических весах ВЛР-200 с точностью 0,00005 г. Рассеивающую способность T рассчитывали по формуле

$$T = \frac{K - M_{\delta}/M_{\delta}}{K - 1} \cdot 100, \quad (3)$$

где K – коэффициент, равный отношению расстояний L_1 к L_2 ; M_{δ}, M_{δ} – средний удельный съем металла соответственно на ближнем и дальнем анодах.

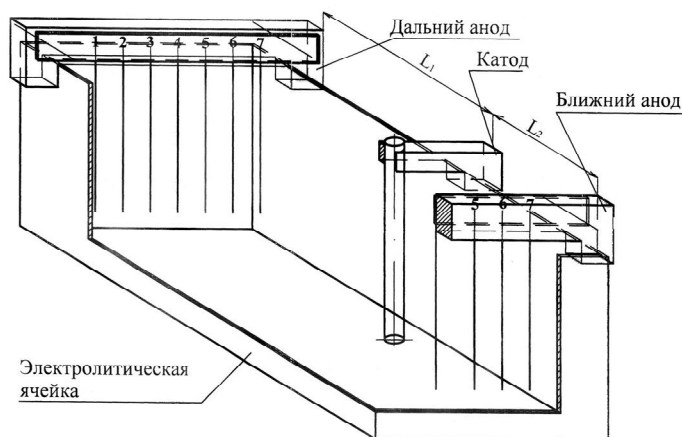


Рис. 1. Схема устройства для определения рассеивающей способности процесса ЭИП: 1...7 – секции разборного анода

В результате эксперимента было установлено, что изменение масс разборных анодов после обработки было практически одинаково, а средняя рассеивающая способность процесса ЭИП составила 99 %. Необходимо отметить, что основным требованием при исследованиях равномерности съема металла по данной методике является необходимость учета геометрических факторов обработки, поскольку полученные результаты могут иметь частные значения, корректные только для данной ячейки [2]. Поэтому при исследовании влияния геометрических факторов электролитической ячейки на рассеивающую способность процесса ЭИП был проведен аналогичный эксперимент в ячейке цилиндрической формы. Результаты экспериментов приведены на рисунке 2.

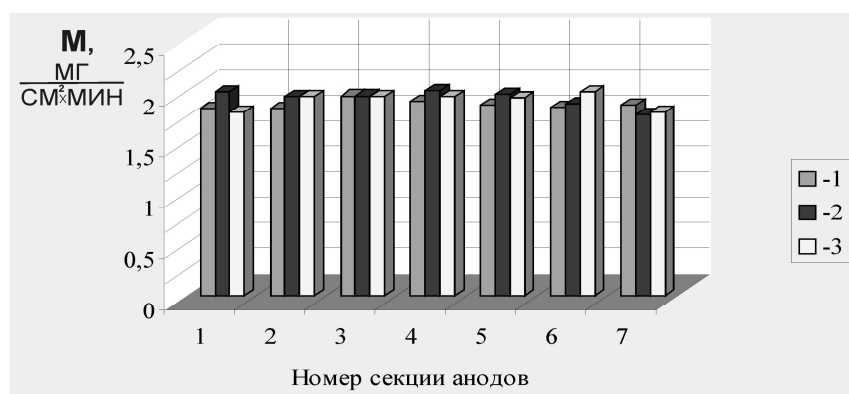


Рис. 2. Удельный съем металла на секциях разборных анодов: 1, 2 – соответственно ближний и дальний анод прямоугольной ячейки; 3 – дальний анод цилиндрической ячейки

Анализ результатов показал, что зависимость съема металла на различных секциях разборного анода при обработке в цилиндрической ячейке имеет аналогичный характер. Это говорит о минимальном влиянии геометрических особенностей ячейки на равномерность съема металла при ЭИП, а незначительная разница в съеме металла на секциях анодов вызвана колебанием температуры электролита в ячейках из-за незначительного нарушения электрогидродинамического движения электролита.

Аналогичным, на первый взгляд, ЭИП является электрохимическое полирование (ЭХП). В связи с тем, что в литературе отсутствуют данные о рассеивающей способности электролитов для ЭХП, а также для сравнительного анализа обоих процессов была определена рассеивающая способность ЭХП. Состав электролита и режимы обработки взяты из [4]. На рисунке 3 представлено распределение удельного съема металла на секциях разборных анодов при ЭХП в прямоугольной ячейке. Полученные данные показывают, что на равномерность съема металла при ЭХП существенное влияние оказывает целый комплекс факторов, основным из которых является распределение в электролите силовых линий электрического поля. Рассеивающая способность электролита в данном случае составила 55 %.

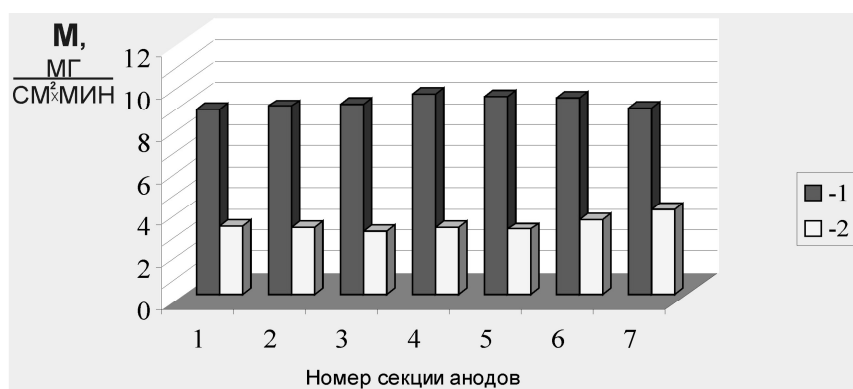


Рис. 3. Удельный съем металла на секциях анодов (1 – ближний, 2 – дальний) при ЭХП

Для исследования влияния распределения силовых линий электрического поля на равномерность съема металла была разработана методика, сущность которой заключается в том, что в прямоугольной электролитической ячейке размещен один разборный анод, расположенный перпендикулярно плоскому катоду (рисунок 4).

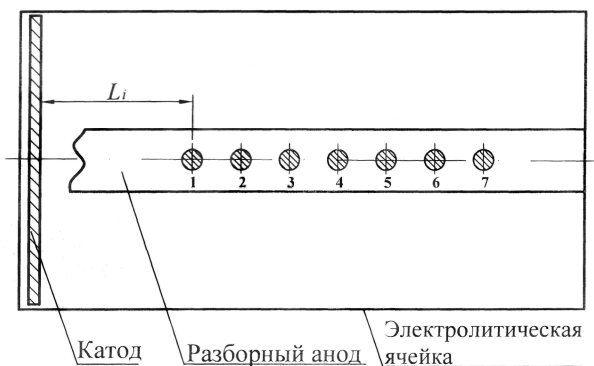


Рис. 4. Схема устройства для определения рассеивающей способности: 1...7 – секции разборного анода

В этом случае электрическое поле в ячейке имеет более сложную структуру, а нарушение электрогидродинамического движения электролита при обработке сведено к минимуму. На рисунке 5 представлены зависимости съема металла на сторону для ЭИП и ЭХП. В обоих случаях зависимости имеют линейный характер, однако в случае ЭИП угол наклона прямой не превышает 0,6°, в то время как для ЭХП – 6°.

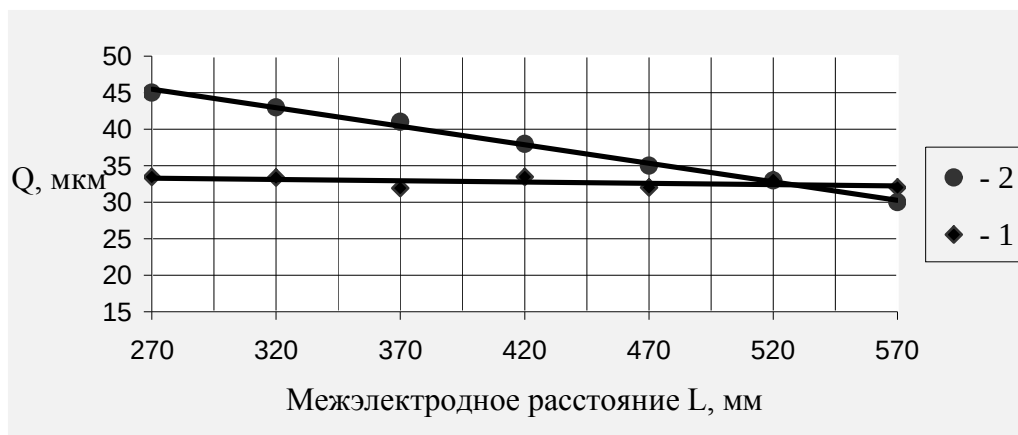


Рис. 5. Съем металла на сторону Q : 1 – при ЭИП; 2 – при ЭХП

Полученные данные говорят о том, что при ЭИП распределение силовых линий электрического поля в ячейке не оказывает существенного влияния на точность обработки – разница в съеме металла на сторону для ближнего и дальнего образцов не превысила 1,5 мкм. Рассеивающая способность процесса ЭИП для различных секций разборного анода составила от 90 до 100 % (среднее значение 97 %). В случае ЭХП распределение силовых линий оказывает решающее влияние на точность обработки – разница в съеме металла на сторону для ближнего и дальнего образцов составила 16 мкм, а рассеивающая способность не превысила 55 %.

На втором этапе исследовалось влияние толщины ПГО на формообразование сложнопрофильных поверхностей при ЭИП. В качестве объекта для исследований был выбран модулятор электронно-оптической системы кинескопа, который представляет собой диафрагму из стали 12Х18Н10Т толщиной $0,15 \pm 0,01$ мм с цилиндрическими рабочими отверстиями $\varnothing 0,635^{+0,003}_{-0,008}$ мм.

Согласно [1] при ЭИП расчетная толщина ПГО над плоской поверхностью составляет 3...16 мкм. В случае обработки сложнопрофильных поверхностей толщина ПГО в области кривизны поверхности может быть как меньше, так и больше толщины ПГО над плоской поверхностью, что безусловно должно влиять на производительность обработки этих участков поверхности. Нами была произведена теоретическая оценка толщины ПГО при ЭИП модулятора в области рабочих отверстий и кромок с заусенцами. Расчеты показали, что толщина ПГО по сравнению с толщиной ПГО над плоской поверхностью модулятора при обработке поверхности отверстия больше в 1,8...2,3 раза, при обработке кромки отверстия – меньше в 7,3...7,8 раза, а над кромкой по сравнению с поверхностью отверстия – меньше в 11...13 раз. Однако, учитывая диаметр рабочего отверстия модулятора, можно предположить, что динамические характеристики ПГО в отверстии из-за неудовлетворительных условий отвода газообразных продуктов из зоны обработки будут существенно отличаться от идеальных. ЭИП отверстия в этом случае будет осуществляться в промежуточном режиме от электрогидродинамического до коммутационного, что, вероятно, увеличит съем металла в отверстии по сравнению с расчетным.

На рисунке 6 приведена схема формообразования поверхностей модулятора.

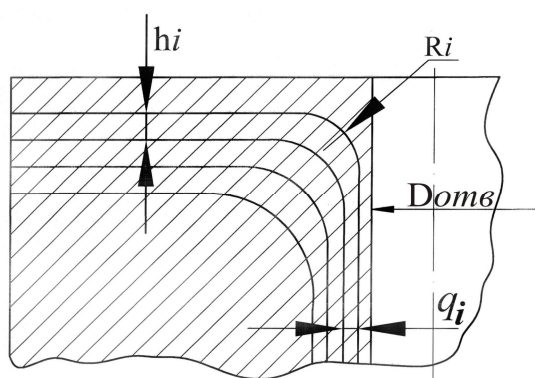


Рисунок 6 - Схема формообразования поверхностей при ЭИП:

h_i - сьем металла с плоской поверхности;

q_i - сьем металла в отверстии;

R_i - радиус кромки

радиусов кромок проводилось на микроскопе прибора ПТМ-3. На рисунке 7 представлены результаты измерений.

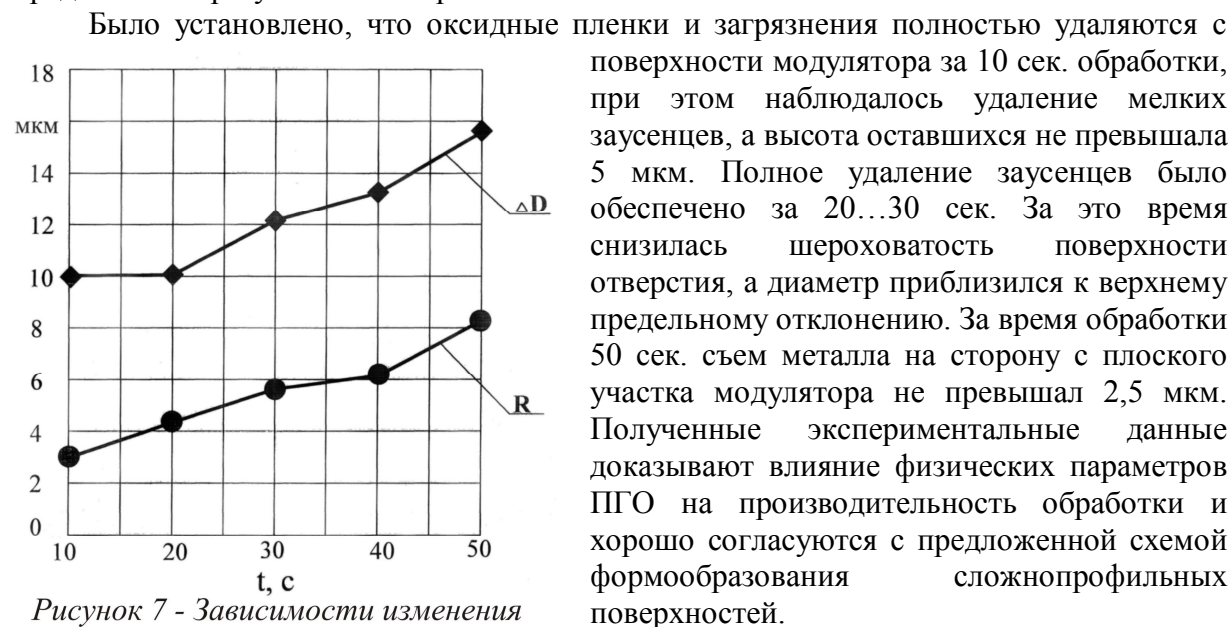


Рисунок 7 - Зависимости изменения диаметра отверстия ΔD и радиуса кромок R от времени обработки t

результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Для различных методов электрохимической обработки при оценке точности можно использовать методику определения рассеивающей способности электролита. Для повышения точности обработки необходимо при прочих равных условиях применять электролиты с максимально возможной электропроводностью.

2. При ЭИП на точность обработки не влияют межэлектродные расстояния, форма и геометрические размеры электролитической ванны. Конфигурация детали предопределяет физические параметры ПГО. ЭИП с учетом особенностей формообразования криволинейных поверхностей можно использовать не только как финишную отделочную операцию, но и как размерную обработку, в том числе прецизионных деталей.

Партию модуляторов полировали на установке ЭИП-1 при температуре электролита 60°C в течение 10; 20; 30; 40 и 50 сек. В качестве критериев при оценке обработки были приняты:

- диаметр рабочего отверстия после ЭИП должен находиться в пределах допуска;

- за время обработки должно быть обеспечено полное удаление заусенцев на кромках отверстий, а также загрязнений и пленок с поверхности модулятора.

Дополнительно в ходе эксперимента контролировали высоту заусенцев и радиус кромки отверстия. Измерение диаметров рабочих отверстий, высоты заусенцев и

радиусов кромок проводилось на микроскопе прибора ПТМ-3. На рисунке 7 представлены результаты измерений. Было установлено, что оксидные пленки и загрязнения полностью удаляются с поверхности модулятора за 10 сек. обработки, при этом наблюдалось удаление мелких заусенцев, а высота оставшихся не превышала 5 мкм. Полное удаление заусенцев было обеспечено за 20...30 сек. За это время снизилась шероховатость поверхности отверстия, а диаметр приблизился к верхнему предельному отклонению. За время обработки 50 сек. сьем металла на сторону с плоского участка модулятора не превышал 2,5 мкм. Полученные экспериментальные данные доказывают влияние физических параметров ПГО на производительность обработки и хорошо согласуются с предложенной схемой формообразования сложнопрофильных поверхностей.

Заключение

Проведенные исследования и полученные

Список литературы: 1. Физико-математическая модель процесса электроимпульсного полирования / Ю.В. Синькевич, И.Н. Янковский// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2006 – Вып. 32. – С. 206 – 212. 2. Ваграмян А.Т., Ильина-Какуева Т.Б. Распределение тока на поверхности электродов при электроосаждении металлов. – М.: Металлургиздат, 1956. – 66 с. 3. Кудрявцев Н.Т. Электролитические покрытия металлами. - М.: Химия, 1979. – 352 с. 4. Грилихес С.Я. Электрохимическое и химическое полирование: Теория и практика. Влияние на свойства металлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1987. – 232 с.

Сдано в редакцию 29.01.07

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

High-performance ecologically safe technology of electro impulse polishing is offered on the basis of the comparative analysis of technologies of a finish machining of a surface of fuel cells. The new method of precision polishing of lengthy items is offered and theoretically justified

Введение

При изготовлении высокоточных деталей и изделий, в частности тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), очень остро стоит вопрос обеспечения заданных точности обработки и качества поверхности. На комплектующих деталях тепловыделяющих сборок и ТВЭЛх не допускается наличие заусенцев и термических окисных пленок, поверхности должны иметь заданную шероховатость с однородной микроструктурой, а сварные швы не иметь склонности к межкристаллитной коррозии (МКК). На специализированных предприятиях для финишной обработки поверхности этих изделий используют несколько жестко регламентированных штатных технологий.

Целью настоящей работы являлся анализ и оптимизация технологии финишной обработки поверхности ТВЭЛов.

Методы исследований

Для проведения исследований и испытаний были изготовлены макеты ТВЭЛов с использованием медного порошка вместо топливной композиции. После термических операций поверхность макетов была покрыта темной окисной пленкой различного цвета и толщины. Окончательно обработанные ТВЭЛы контролировались на соответствие требованиям чертежа, а также контролировались остаточная толщина оболочки ТВЭЛа и склонность сварных швов к МКК. Величина съема металла при обработке определялась по результатам измерений размеров макетов в одних и тех же сечениях до и после обработки с помощью рычажной скобы с ценой деления 1 мкм. Однородность поверхности оценивалась визуально, а микроструктура изучалась на микроскопе ММУ-3 при увеличении x56. Снятие профилограмм и автоматизированная обработка параметров шероховатости поверхности проводилась на перфометре S8P в соответствии с ГОСТ 2789-73. Склонность сварных швов к МКК исследовалась методом АМУ по ГОСТ 6032-89.

Результаты и обсуждение

В качестве критериев пригодности технологий для финишной обработки поверхности ТВЭЛов были приняты следующие:

- величина съема металла при обработке должна обеспечивать гарантированное