

УДК 004.65

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

¹В. Р. МУКАЕВА, ²М. В. ГОРБАТКОВ, ³Р. Г. ФАРРАХОВ, ⁴Е. В. ПАРФЕНОВ, ⁵А. Л. ЕРОХИН

¹veta_mr@mail.ru, ²mikesg@mail.ru, ³frg1982@mail.ru, ⁴evparfenov@mail.ru, ⁵aleksey.yerokhin@manchester.ac.uk

¹⁻⁴ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

⁵ Университет Манчестера (Великобритания)

Поступила в редакцию 07.08.2017

Аннотация. Изучены акустические спектры процесса электролитно-плазменного полирования (ЭПП) в режиме постоянного напряжения и при наложении на постоянное напряжение импульсов тестовых частот в режиме малого сигнала. Найдена взаимосвязь электрических и акустических спектров процесса ЭПП. Выявлен информативный диапазон акустического спектра, в котором характеристический спектральный пик изменяет свое положение в ходе обработки. Проведен корреляционный анализ, который показал сильную взаимосвязь между уменьшением шероховатости поверхности Ra в ходе ЭПП и изменением положения спектрального пика.

Ключевые слова: электролитно-плазменное полирование; парогазовая оболочка; шероховатость поверхности; акустический спектр; импедансная спектроскопия; гидрофон.

ВВЕДЕНИЕ

Технологический процесс электролитно-плазменного полирования (ЭПП) применяется в промышленности для финишной обработки поверхностей нержавеющей, низкоуглеродистых сталей, никелевых, медных, титановых и алюминиевых сплавов, а также для подготовки поверхностей металлов перед нанесением вакуумно-плазменных покрытий [1, 2]. Процесс ЭПП проводится при напряжении от 200 до 400 В, при котором вокруг обрабатываемой детали-анода возникает тонкая парогазовая оболочка (ПГО), которая содержит пары воды, активные радикалы и ионы электролита. На ПГО происходит основное падение напряжения, так как пузырьки газа перекрывают анод электролизера; результирующая напряженность поля достигает 10^4 – 10^5 В/см [3]. Высокая напряженность поля в ПГО способствует горению тлеющего разряда с электролит-

ным катодом [4]. Таким образом, комплекс электрохимических, плазменных, термических и гидродинамических процессов, происходящих в ПГО и на поверхности детали, способствует съему поверхностного слоя. В результате ЭПП происходит снижение шероховатости поверхности на 2–3 класса; минимальное значение Ra может достигать 0,01 мкм [5].

Однако фундаментальные свойства парогазовой оболочки и прианодной зоны все еще недостаточно изучены. Ранее были проведены исследования, посвященные изучению электрических спектров процесса ЭПП методом пассивной идентификации [6] и при воздействии сканирующими импульсами переменной частоты [7]. Работы расширили понимание механизмов преобразования поверхностного слоя и выявили информативные электрические спектральные характеристики, позволяющие диагностировать ход процесса ЭПП. Данное исследование посвящено аспекту механических колебаний, генерируемых ПГО: изучению акустических спектров во взаимосвязи с

электрическими характеристиками и процессом полирования поверхности.

Цель данной работы заключается в поиске информативных параметров акустического спектра, позволяющих диагностировать шероховатость поверхности в ходе процесса ЭПП.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведены две серии экспериментов для исследования взаимосвязи акустического спектра с электрическими спектральными характеристиками процесса ЭПП и со свойствами поверхности. Процесс ЭПП исследовался на образцах из стали 20Х13 в 5 %-м водном растворе сульфата аммония. Эксперименты проводились на автоматизированной установке для изучения процессов электролитно-плазменной обработки с управлением от персонального компьютера, схема которой показана на рис. 1 [8]. Звуковой сигнал записывался в формате WAV с частотой дискретизации 44,1 кГц.

В первой серии экспериментов для выявления взаимосвязи электрического и акустического спектров процесса ЭПП была проведена in-situ импедансная спектроскопия в режиме малого сигнала по методике [9]. На постоянное напряжение на электролизере 325 В накладывались прямоугольные импульсы амплитудой 50 В с циклическим ступенчатым изменением частоты в диапазоне 20–2000 Гц. Одновременно регистрировались кадры тока и напряжения с частотой дискретизации 40 кГц и размером выборки 7168 отсчетов.

Регистрация акустического излучения процесса ЭПП осуществлялась внешним конденсаторным микрофоном на расстоянии 80–100 см от электролизера.

Вторая серия экспериментов, направленная на поиск взаимосвязи акустического сигнала с шероховатостью поверхности, проводилась в режиме постоянного напряжения без наложения тестовых импульсов. Звуковой сигнал регистрировался с помощью погружного пьезогидрофона на расстоянии 2–3 см от обрабатываемой поверхности.

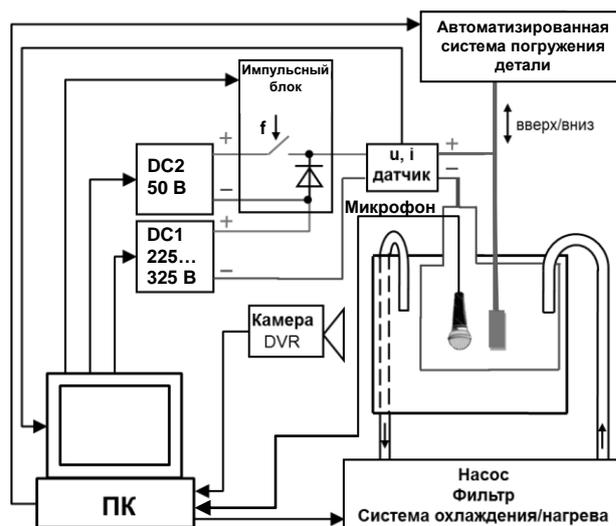


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения спектральных характеристик процесса электролитно-плазменного полирования

Исследование закономерностей преобразования профиля обрабатываемой поверхности выполнялось путем изучения изменения параметров шероховатости поверхности [10]: Ra – среднее арифметическое отклонение профиля; Rq – среднеквадратическое отклонение профиля; Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам; Ry – наибольшая высота профиля; Rt – общая высота неровностей профиля; Rp – высота наибольшего выступа профиля; Rv – высота наибольшей впадины профиля; RSm – средний шаг неровностей профиля; RS – средний шаг местных выступов профиля; RSk – асимметрия профиля; $R3z$ – высота неровностей по трем максимальным значениям; $Rmax$ – наибольшая высота профиля; RPc – расчет пика шероховатости. Для этого с использованием образцов с начальными шероховатостями Ra_0 в диапазоне 0,2..0,4; 0,6..0,8 и 0,8..1,0 мкм были проведены эксперименты различной длительности 1, 2; 5, 10 и 20 мин. До и после обработки параметры шероховатости фиксировались с помощью профилметра TR220 (Time Group).

Топография поверхности изучалась с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) JEOL JEM-6390 при ускоряющем напряжении 10 кВ.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Для получения акустического спектра в первой серии экспериментов были подготовлены полосовые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ), полосы пропускания которых были центрированы относительно частот приложенных диагностирующих импульсов напряжения. Такие фильтры имеют выходной сигнал $y[\eta]$, рассчитываемый по входному $x[\eta]$ в соответствии с разностным уравнением

$$y[\eta] = b_0 \cdot x[\eta] + b_1 \cdot x[\eta - 1] + \dots + b_B \cdot x[\eta - B],$$

где η – дискретное время в пределах каждого интервала обработки данных, $b_0 \dots b_B$ – коэффициенты фильтра, B – порядок фильтра. Каждый из выбранных интервалов записи сигнала пропускался через соответствующий фильтр.

Акустический спектр для второй серии экспериментов был получен следующим образом. Записанный WAV-файл был разбит на участки длительностью 1 мин, из которых были рассчитаны периодограммные оценки акустического спектра по методу Уэлча [11] с окном Кайзера. Разрешение по времени составило 1 мин, разрешение по частоте – 8,5 Гц.

Для сравнения оценок акустических спектров с электрическими спектральными характеристиками были рассчитаны оценки частотных характеристик (ЧХ) комплексной проводимости \underline{G} и комплексного сопротивления электролизера \underline{Z} , приведенные к единице площади, по методике, описанной в статье [12]:

$$\begin{aligned} \underline{G}(j \cdot 2\pi f_k, t_m) &= \frac{\underline{I}(j \cdot 2\pi f_k, t_m)}{\underline{U}(j \cdot 2\pi f_k, t_m) \cdot s} = \\ &= G(f_k, t_m) \cdot e^{-j\varphi(f_k, t_m)}, \\ \underline{Z}(j \cdot 2\pi f_k, t_m) &= \frac{\underline{U}(j \cdot 2\pi f_k, t_m) \cdot s}{\underline{I}(j \cdot 2\pi f_k, t_m)} = \\ &= Z(f_k, t_m) \cdot e^{j\varphi(f_k, t_m)}, \end{aligned}$$

где f_k и t_m отсчеты дискретной развертки частоты и дискретного времени; \underline{I} , \underline{U} – комплексы действующих значений тока и напряжения, s – площадь анода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В результате первой серии экспериментов были получены оценки электрических ЧХ и акустических спектров, как отклики на приложенные тестовые импульсы напряжения в диапазоне частот 20–2000 Гц.

Полученные в результате фильтрации сигналы позволили рассчитать и построить акустический спектр, приведенный на (рис. 2).

На рис. 3 приведена оценка ЧХ модуля комплексной проводимости электролизера G .

На рис. 4 показаны РЭМ-микрофотографии, свидетельствующие об эффективном полировании поверхности. Исходная поверхность характеризуется множеством продольных микронеровностей после механической обработки; после двух минут обработки основные неровности сглажены; после пятнадцати минут обработки наблюдается гладкая поверхность.

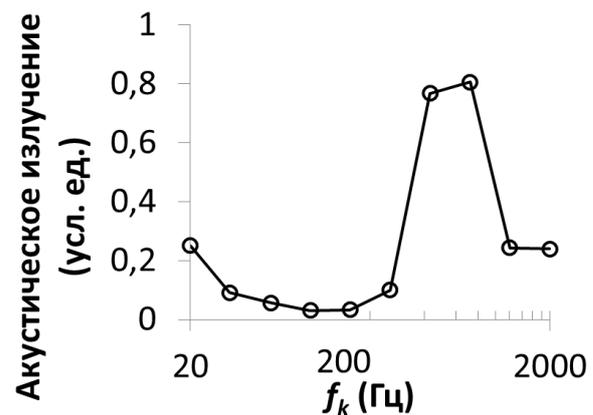


Рис. 2. Оценка акустического спектра процесса ЭПП при развертке частоты

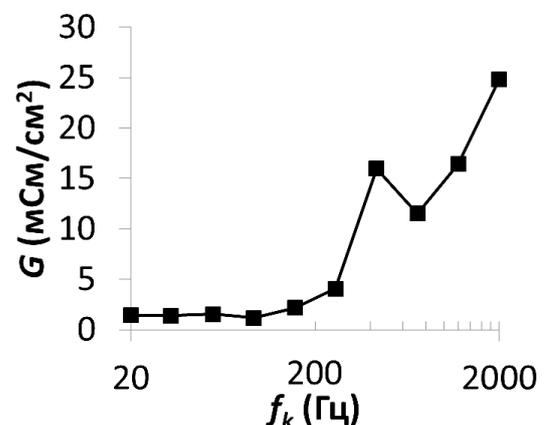
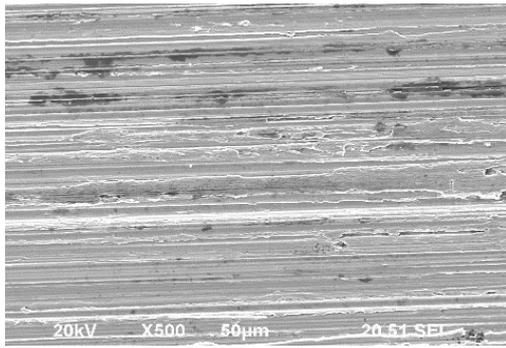
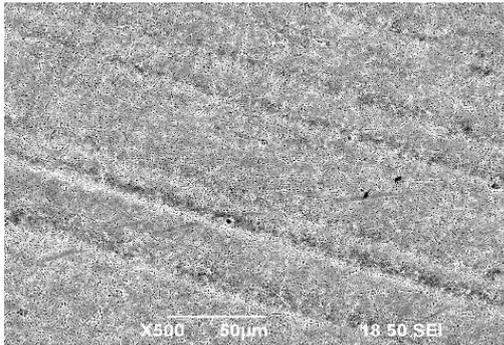


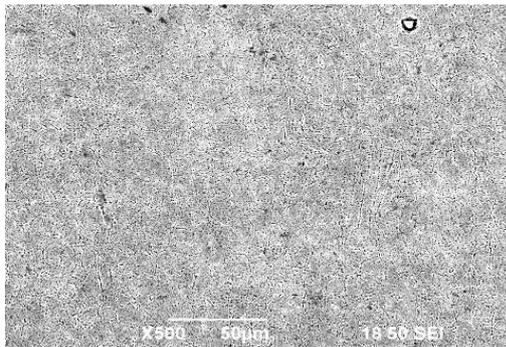
Рис. 3. Оценка ЧХ модуля комплексной проводимости электролизера



a



б



в

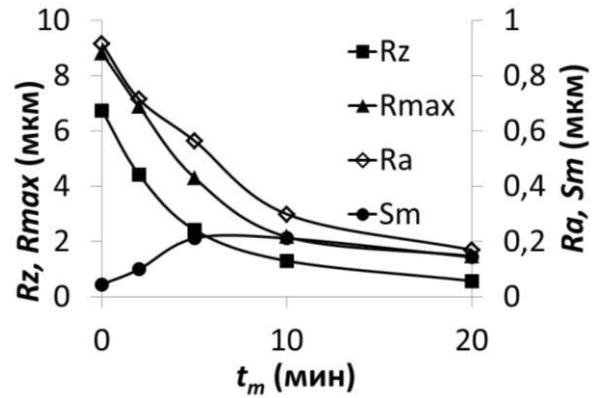
Рис. 4. Микрофотографии поверхности стали 20X13: *a* – начальная поверхность; *б* – спустя 2 мин. ЭПП; *в* – спустя 15 мин. ЭПП

В результате второй серии экспериментов получены данные об изменении параметров шероховатости и оценок акустического спектра во времени. На рис. 5 можно наблюдать характер уменьшения высотных параметров шероховатости, таких как Ra , Rz , $Rmax$, и увеличение шагового параметра микронеровностей RSm в ходе процесса ЭПП.

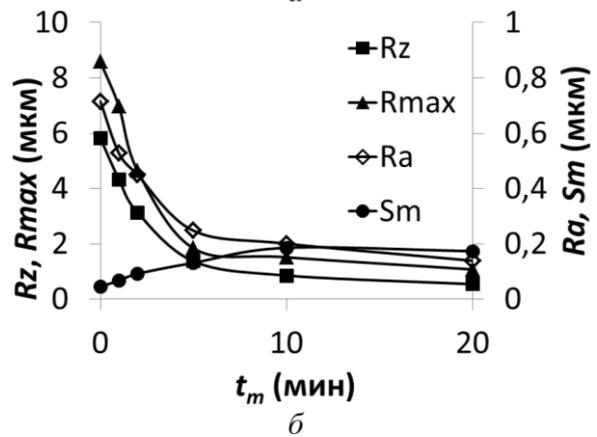
На рис. 6 показан пример оценки акустического спектра, рассчитанной для третьей минуты полирования. Данный график характеризуется наличием двух пиков шириной 140–180 и 150–250 Гц на половине высоты.

Совокупность поминутно рассчитанных оценок акустического спектра позволили построить 3D-график их изменения во времени (рис. 7).

В сечении 3D-графика в каждый момент времени наблюдается два спектральных пика: на частоте 350–500 Гц и 600–2000 Гц. Положение первого пика не изменяется в ходе ЭПП, в отличие от положения второго пика, которое изменяется во времени.



a



б

Рис. 5. Изменение параметров шероховатости во времени для образцов с начальной шероховатостью Ra_0 : *a* – 0,6...0,8 мкм; *б* – 0,8...1 мкм

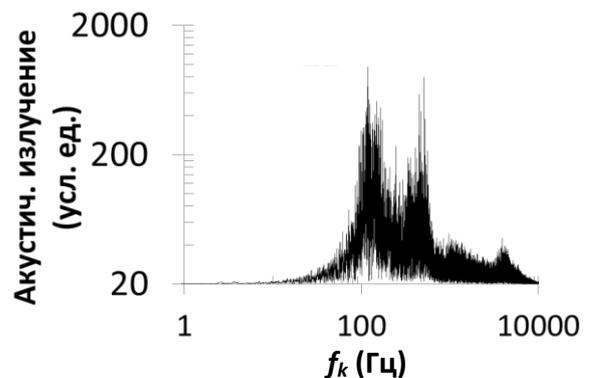


Рис. 6. Акустический спектр на третьей минуте ЭПП

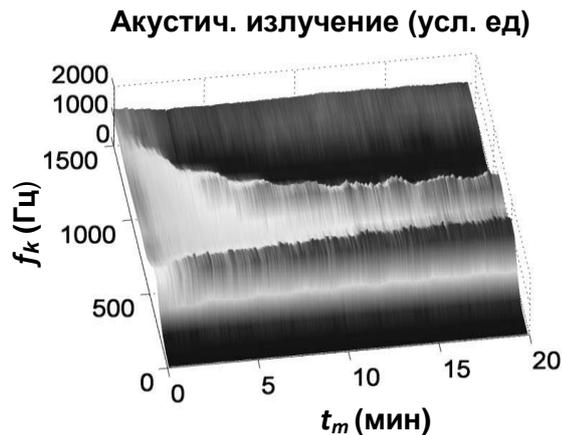


Рис. 7. 3D-график изменения оценок акустического спектра во времени

Для выявления природы полученных характеристик проведен взаимный анализ оценок акустического, электрического спектров и микрогеометрии поверхности.

ВЗАИМОСВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРОЦЕССА ЭПП

Рассмотрим график акустического спектра на рис. 2. Акустические колебания возрастают в области низких и высоких частот при минимуме в области 30–300 Гц. Наблюдается характерный пик на графиках оценок акустического спектра в диапазоне 350–800 Гц.

Сравним в области частот выше 300 Гц графики оценок акустического спектра (рис. 2) и ЧХ модуля комплексной проводимости электролизера (рис. 3).

Можно отметить, что на частотах 350–600 Гц в оценке ЧХ модуля комплексной проводимости, как и в оценке акустического спектра, присутствует резонансный пик. Полоса частот в окрестности резонансного пика соответствует значению аргумента 90 градусов и пересечению мнимой оси кривой годографа комплексного сопротивления (рис. 8).

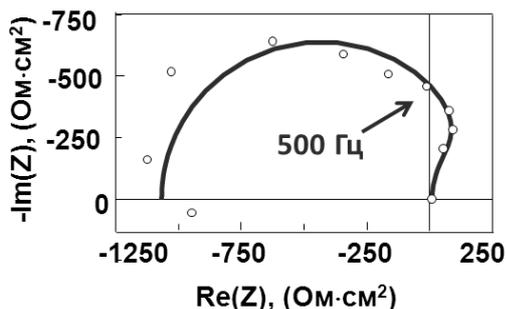


Рис. 8. Годограф оценки ЧХ комплексного сопротивления

Это означает, что активное сопротивление равно нулю и затухание электрических колебаний минимально. Так как электрический резонанс возникает при нулевом сдвиге фаз между током и напряжением, в данном случае можно предположить наличие другого типа резонанса, например механического резонанса колебаний ПГО. Когда частота тестового сигнала напряжения приближается к собственной частоте колебаний пузырьков ПГО при кипении, пузырьки приходят в движение с большей амплитудой, генерируя более громкое звуковое колебание. Данный эффект также может способствовать образованию больших по площади электролитных мостиков для протекания тока, что приводит к увеличению проводимости.

ВЗАИМОСВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРОЦЕССА ЭПП И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрим 3D-график изменения оценок акустического спектра во времени (рис. 7).

Первый спектральный пик показывает интенсивные механические колебания в диапазоне частот 350–500 Гц, что согласуется с оценками акустического спектра на рис. 2. Также на частотах 600–2000 Гц происходит плавное изменение положения второго спектрального пика.

Анализируя характер изменения положения второго спектрального пика (частота F_m), можно предположить его взаимосвязь с изменением параметров шероховатости. Близкие к единице коэффициенты корреляции, приведенные на рис. 8, подтверждают данное предположение. Из диаграммы видно, что изменение значения F_m в большей степени связано с высотными параметрами шероховатости, такими как R_a , R_q , R_z , R_y , R_t , R_p , R_v , R_{3z} , R_{max} , R_{Pc} . Положительные значения коэффициента корреляции говорят о прямой зависимости величин. Интересно отметить обратную зависимость изменения значения F_m и шаговых параметров микронеровностей R_{Sm} и R_{Sk} , показывающую существенный эффект сглаживания поверхности. Корреляционный анализ показывает, что на формирование и колебание пузырьков ПГО оказывают влияние и вертикальные, и горизонтальные составляющие микронеровностей профиля.

Таким образом, оценки акустических спектров, отражающие механические колеба-

ния ПГО, несут информацию о шероховатости поверхностного слоя обрабатываемой детали.

На рис. 9 показаны тарировочные характеристики для определения шероховатости Ra в ходе процесса ЭПП по значениям Fm для поверхности с различной начальной шероховатостью Ra_0 . О линейности тарировочной характеристики свидетельствует высокий показатель коэффициента парной корреляции для выборок значений Fm и Ra . Величина начальной шероховатости Ra_0 , как было установлено в работе [13], оказывает значительное влияние на ход полирования: на скорость процесса и на предельно достигаемую шероховатость. Как видно из рис. 10, наклон тарировочной характеристики также зависит от Ra_0 .

Установлено, что размах тарировочной характеристики $Ra(Fm)$ ограничивается слева предельно достижимой шероховатостью, а наклон определяется формой исходной поверхности – совокупностью высотных и шаговых параметров шероховатости.

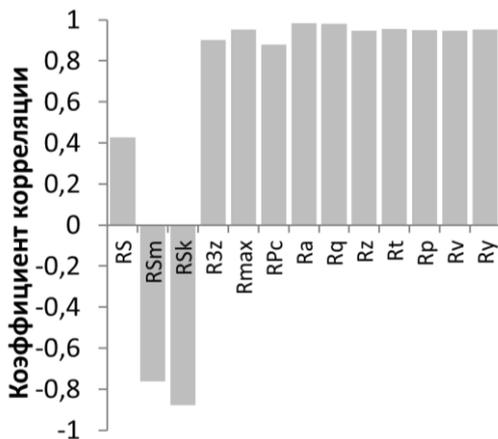


Рис. 9. Коэффициенты корреляции изменения во времени параметров шероховатости и положения спектрального пика Fm

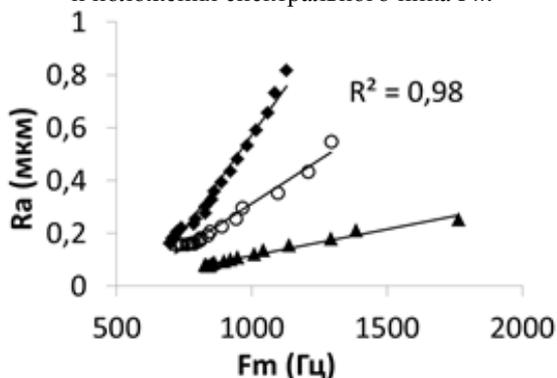


Рис. 10. Тарировочные характеристики для определения шероховатости Ra в ходе ЭПП по значениям Fm для поверхности с различной начальной шероховатостью Ra_0

На рис. 11 приведены кривые, иллюстрирующие эффективность применения выявленной закономерности.

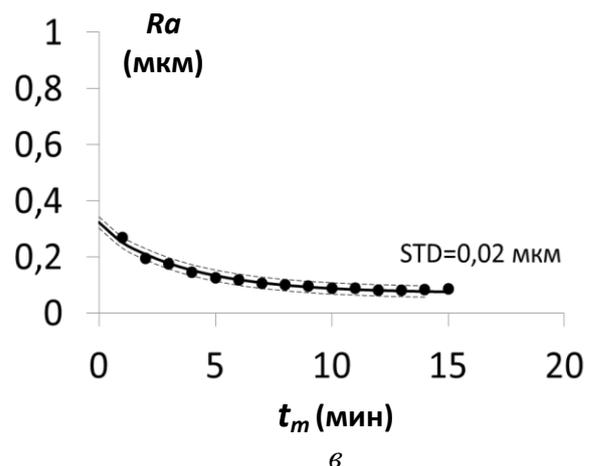
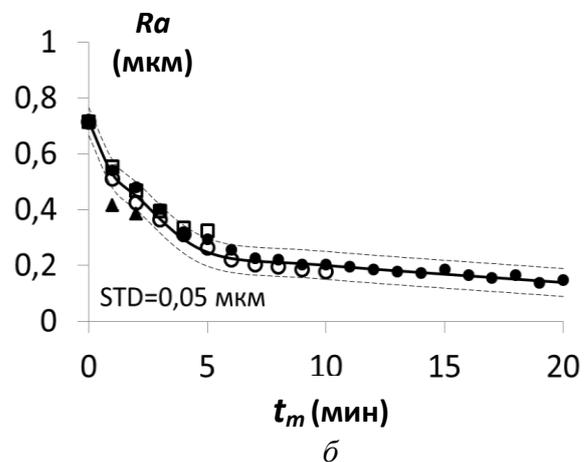
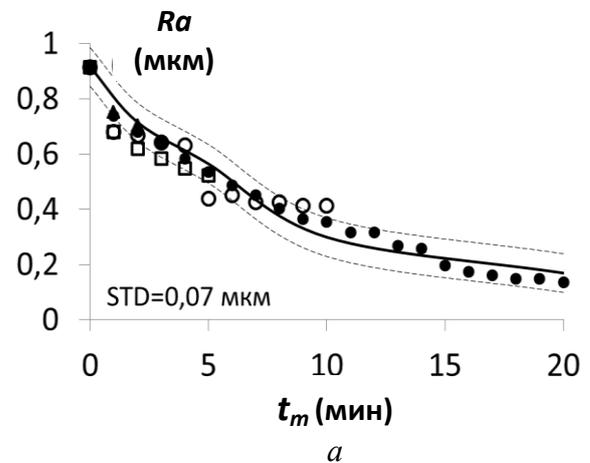


Рис. 11. Изменение шероховатости Ra в ходе ЭПП образцов с начальной шероховатостью Ra_0 : а – 0,8...1 мкм; б – 0,6..0,8 мкм; в – 0,2..0,4 мкм; — экспериментальное значение Ra ; ... интервал стандартного отклонения STD; $\blacktriangle \bullet \square$ — значения Ra , рассчитанные по оценкам акустического спектра для опытов с различной длительностью

На рис. 11 линиями показано изменение шероховатости Ra согласно экспериментальным данным. Точками отмечены значения Ra , полученные по тарифовочной характеристике $Ra(Fm)$ для различных реализаций. Стандартное отклонение расчетных значений Ra от экспериментальной кривой составляет 0,02–0,07 мкм, или 2–7% от диапазона измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено экспериментальное исследование процесса электролитно-плазменного полирования как объекта диагностики. Исследована динамика высотных и шаговых параметров шероховатости и показано, что высотные параметры уменьшаются, а шаговые возрастают с различными скоростями в ходе ЭПП. На основе мгновенных значений тока и напряжения рассчитаны оценки ЧХ модуля комплексной проводимости и сопротивления электролизера для процесса ЭПП в режиме малого сигнала.

Исследование оценок акустического спектра процесса ЭПП позволило выявить два специфических пика:

1) не изменяющий своего положения во времени спектральный пик шириной 140–180 Гц в диапазоне частот 350–500 Гц;

2) плавно изменяющий свое положение во времени спектральный пик шириной 150–250 Гц в диапазоне частот 600–2000 Гц.

Природа первого пика объясняется механическим резонансом в ПГО. Данный вывод сделан на основе сопоставления акустического спектра с оценкой ЧХ модуля комплексной проводимости электролизера.

Второй пик коррелирован с параметрами шероховатости. Определена степень корреляции между частотой, на которой появляется пик в акустическом спектре в диапазоне 600–2000 Гц и высотными и шаговыми параметрами шероховатости в ходе процесса ЭПП. Выявленная закономерность в наибольшей степени проявляется (коэффициент парной корреляции 0,98) в отношении средней шероховатости поверхности Ra .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов И. С., Ващенко С. В., Каменев А. Я. Электролитно-плазменная обработка материалов. Минск: Беларус. навука, 2010. 232 с. [I.S. Kulikov, S.V. Vashchenko, A.Ya. Kamenev, *Electrolytic plasma process for materials*, (in Russian). Minsk: Belarus. navuka, 2010.]
2. Многоэтапная электролитно-плазменная обработка изделий из титана и титановых сплавов / А. М. Смыслов [и др.] // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 13. № 1 (34). С. 141–145. [A. M. Smyslov., et. al., "Multistage electrolytic plasma processing of products from titan and titanic alloys", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 13, no. 1 (34), pp. 141-145, 2009.]
3. Plasma electrolysis for surface engineering. Review / Yerokhin A., et. al. // *Surface and Coating Technology*. 1999. Vol. 122. P. 73–79. [A. Yerokhin, "Plasma electrolysis for surface engineering. Review", in *Surface and Coating Technology*, Vol. 122, pp. 73-79, 1999.]
4. Баковец В. В., Поляков О. В., Долговесова И. П. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. 164 с. [V. V. Bakovets, O. V. Polyakov, I. P. Dolgovesova, *Plasma-electrolytic anode treatment of metals*, (in Russian). Novosibirsk: Nauka, 1991.]
5. Plasma Electrolytic Polishing – an Overview of Applied Technologies and Current Challenges to Extend the Polishable Material Range / K. Nestler, et. al. // *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 42. P. 503–507. [K. Nestler, et. al., "Plasma Electrolytic Polishing – an Overview of Applied Technologies and Current Challenges to Extend the Polishable Material Range", in *Procedia CIRP*, vol. 42, pp. 503-507, 2016.]
6. Р. Р. Невьянцева [и др.] Влияние физико-химического состояния поверхности образцов различной формы на колебания тока при электролитно-плазменной обработке // Физика и химия обработки материалов. 2002. № 2. С. 33–39. [R. R. Nevyantseva, et. al., "Influence of the physical and chemical state of the surface of samples with various geometry on the current oscillations during electrolytic-plasma processing", (in Russian), in *Physics and Chemistry of Materials Treatment*, no. 2, pp.33–39.]
7. Парфенов Е. В. и др. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление. М.: Машиностроение, 2014. 380 с. [E. V. Parfenov, et. al., *Electrolytic plasma processing: modeling, diagnostics, control*, (in Russian). М.: Mashinostroenie, 2014.]
8. Автоматизированная технологическая установка для исследования электролитно-плазменных процессов / Е. В. Парфенов [и др.] // Вестник УГАТУ, 2016. Т. 20. № 4 (74). С. 23–31 [E. V. Parfenov, et.al., "Automated technological equipment for research into electrolytic plasma processes", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 20, no. 4 (74), pp. 23–31, 2016.]
9. Impedance spectroscopy of the process of hard anodizing of aluminum alloys / R. G. Farrakhov, et. al. // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2016. Vol. 52, Issue 2. P. 202–211. [R. G. Farrakhov, et.al., "Impedance spectroscopy of the process of hard anodizing of aluminum alloys", *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, vol. 52, Issue 2. P. 202-211, 2016.]
10. ГОСТ 2789-73. Межгосударственный стандарт. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М.: Стандартинформ, 2006. [GOST 2789-73. "Interstate standard. Surface roughness. Parameters and characteristics". М.: Standartinform, 2006.]

11. **Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с. [А. В. Sergienko, *Digital signal processing*, (in Russian), SPb.: Piter, 2002.]

12. **System** linearity quantification for in-situ impedance spectroscopy of plasma electrolytic oxidation / A. Yerokhin, et. al. // *Electrochemistry Communications*, 2013. Vol. 27. P. 137–140. [А. Yerokhin, et. al. "System linearity quantification for in-situ impedance spectroscopy of plasma electrolytic oxidation", in *Electrochemistry Communications*, vol. 27. pp. 137-140, 2013.]

13. **Мукаева В. Р., Парфенов Е. В.** Математическое моделирование процесса электролитно-плазменного полирования // Вестник УГАТУ, 2012. Т.16. № 6 (51). С. 67–73 [V. R. Mukaeva, E. V. Parfenov "Mathematical modeling of electrolytic plasma polishing process", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 6(51), pp. 67-73, 2012.]

ОБ АВТОРАХ

МУКАЕВА Вета Робертовна, старший научный сотрудник, каф. теор. основ электротехн. М-р в обл. инф. измерительн. техники и технологий (УГАТУ, 2011), Канд. техн. наук по автомат. и упр. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. диагностики и моделирования электролитно-плазменных технол. процессов.

ГОРБАТКОВ Михаил Викторович, асп. каф. теор. основ электротехн. М-р в обл. электроники и нанoeлектроники (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. систем управления электротехнол. процессами.

ФАРРАХОВ Рузиль Галиевич, доц. каф. теор. основ электротехн. Дипл. инженер-механик (Уфимск. гос. ин-т сервиса, 2004). Канд. техн. наук по информ.-измерит. и управл. системам (Астраханск. гос. ун-т, 2007). Иссл. в обл. диагностики электротехнол. процессов.

ПАРФЕНОВ Евгений Владимирович, проф. каф. теор. основ электротехн. Дипл. инж. по пром. электронике (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по автомат. и упр. технол. проц. и произв. (там же, 2012). Иссл. в обл. управления технол. процессами электролитно-плазменной обработки.

ЕРОХИН Алексей Леонидович, лектор по вопросам модификации поверхности материалов, заведующий лабораторией электролитно-плазменных исследований Университета Манчестера, Великобритания. Канд. техн. наук по процессам механической и физико-технической обработки (Тульский гос. техн. университет, 1995). Иссл. в области фундаментальных физ. и хим. аспектов электролитно-плазменных технологий.

METADATA

Title: Diagnostics of electrolytic plasma polishing by acoustic spectra

Authors: V. R. Mukaeva¹, M. V. Gorbatkov², R. G. Farrakhov³, E. V. Parfenov⁴, A. L. Yerokhin⁵

Affiliation:

¹⁻⁴ Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

⁵ The University of Manchester, United Kingdom

Email: ¹veta_mr@mail.ru, ²mikesg@mail.ru, ³frg1982@mail.ru, ⁴evparfenov@mail.ru, ⁵aleksey.yerokhin@manchester.ac.uk

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 21, no. 3 (77), pp. 32-39, 2017. ISSN 2225- 2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract:

New acoustic spectra of electrolytic plasma polishing (EPPo) process have been obtained. An interrelation between electric and acoustic spectra of the process has been found. Study of acoustic spectra provided informative frequency range which contains a time-varying spectral peak. Correlation analysis shows a strong connection between surface roughness *Ra* and a position of the peak.

Key words: electrolytic plasma polishing; vapour gaseous envelope; surface roughness; acoustic spectra; impedance spectroscopy; hydrophone.

About authors:

MUKAEVA, Veta Robertovna, senior researcher, Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Master. in information measurement technics and technology (USATU, 2011). PhD. in Tech. Sci. (USATU, 2014).

GORBATKOV, Mikhail Victorovich, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Master of Electronics and Nanoelectronics (USATU, 2014).

FARRAKHOV, Ruzil Galievich, Associate prof., Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Engineer-mechanic (UGIS, 2004), PhD. in Tech. Sci. (Astrakhan State University, 2007).

PARFENOV, Evgeny Vladimirovich, Prof., Dept. of Theoretical Basis of Electrical Engineering. Dipl. Eng. in Industrial Electronics (UGATU, 1997). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2012).

YEROKHIN, Aleksey Leonidovich, Lecturer in Surface Engineering of Materials, Head of Plasma Electrolysis Research Laboratory in the University of Manchester. PhD. in Tech. Sci. (Tula State Technical University, 1995)