

Е. Г. Володько, В. А. Тутык

*Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепрпетровск***ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИРОВОККОЙ**

Исследована технология улучшения качества поверхностного слоя имплантатов из титановых сплавов посредством применения электролитно-плазменной полировки. Разработана математическая модель процесса электролитно-плазменной полировки. Проведены эксперименты по выбору оптимального состава электролита. Рассмотрены вопросы автоматизации процесса с помощью импедансной спектроскопии.

Ключевые слова: электролитно-плазменная полировка, электролит, шероховатость, электрический ток, напряжение, имплантат.

Досліджено технологію поліпшення якості поверхневого шару імплантатів із титанових сплавів за допомогою застосування технології електролітно-плазмового полірування. Розроблено математичну модель процесу електролітно-плазмового полірування. Проведено експерименти щодо вибору оптимального складу електроліту. Розглянуто питання автоматизації процесу за допомогою імпедансної спектроскопії.

Ключові слова: електролітно-плазмове полірування, електроліт, шорсткість, електричний струм, напруження, імплантат.

Is investigated technology for producing surface layer quality implants made of titanium alloys by the use of technology for electrolytic-plasma polishing. Developed a mathematical model of electrolytic-plasma polishing. Carried out experiments on the choice of optimal composition of the electrolyte. Investigated the question process automation by means of impedance spectroscopy.

Key words: electrolytic-plasma polishing, electrolyte, roughness, electric current, voltage, the implant.

Введение. Существующие методы финишной обработки титановых сплавов – механические, химические, электрохимические – трудоемкие, дорогостоящие и часто экологически вредные. Электролитно-плазменное полирование (ЭПП) является высокоэффективным способом обработки изделий в нетоксичных средах и имеет более высокие экологические и экономические показатели. Однако создание технологии ЭПП каждой детали требует решения ряда задач, поэтому исследования в этой области являются перспективными и актуальными [1].

Постановка задачи. Целью работы является целенаправленное формирование параметров качества поверхностного слоя титановых изделий. Для достижения поставленной цели необходимо решить некоторые второстепенные вопросы: создать физико-математическую модель процесса ЭПП; разработать рекомендации по рациональному выбору состава электролита; исследовать влияния электрофизических параметров процесса на технологические качества и свойства изделий; разработать технологию электролитно-плазменной финишной обработки медицинских имплантатов из титановых сплавов; проанализировать возможности автоматизации процесса посредством импедансной спектроскопии.

Методы и способы исследований. Лабораторные исследования проводились в лаборатории кафедры физики НМетАУ на созданной экспериментальной установке (Рис. 1).

Основные технические данные установки: мощность – $P = 600 - 6000$ Вт; рабочее напряжение – $U = 100 - 1350$ В; ток – $I_{\max} = 10,0$ А.

В качестве блока питания использовался бестрансформаторный высоко-частотный источник ИВЕ – 245 – 09, работающий на частоте преобразования 45–55 кГц.

Исследования топографии поверхностного слоя и микроструктуры образцов проводились с помощью светового оптического микроскопа Axio Vert F1 MAT фирмы «Carl Zeiss» (Германия).

Значение шероховатости определялось с помощью профилометра модели 170622, тип II, степень точности 2 по ГОСТ 19300-86.

Для неразрушающего химического анализа состава материала и определения марки сплава использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор с технологией SDD детектора S1 TITAN LE, позволяющий определять концентрации элементов в составе образца в диапазоне от магния (12) до урана (92), в том числе и легкие элементы, такие как Mg (12), Al (13), Si (14), P (15), S (16), без вакуумизации и гелиевой продувки в сплавах на основе железа, никеля, титана, меди, алюминия и т.д.

Элементный состав изучался на рентгенофлуоресцентном спектрометре Sample ID, фазовый состав – на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2, микротвердость – на микротвердомере Durascan Emcatest. Коррозионные свойства обработанной поверхности исследовались методом поляризационных испытаний.

Осциллографические исследования проводились при помощи цифрового осциллографа RIGOL DS1052, позволяющего измерять большое количество параметров, а также выполнять математические действия с осциллограммами.

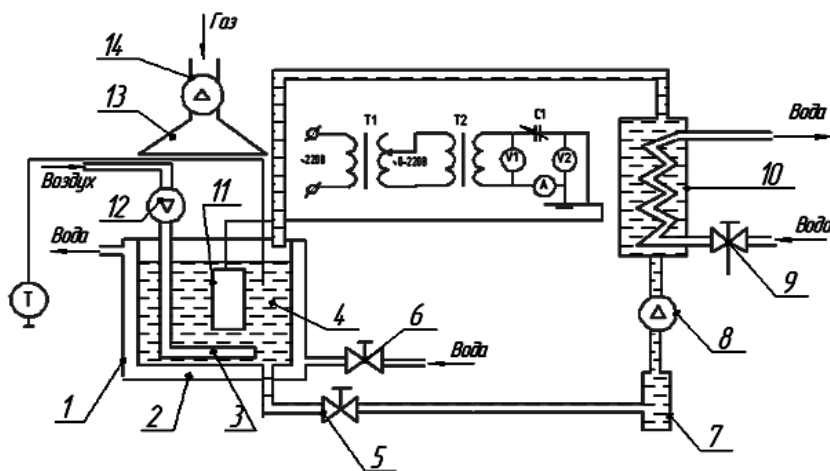


Рис. 1. Функциональная схема установки ЭПП:

- 1 – гальваническая ванна; 2 – рубашка водяного охлаждения; 3 – барботер;
4 – электролит; 5, 6, 9 – запорная арматура; 7 – фильтр; 8 – водяной насос;
10 – бак с теплообменником; 11 – деталь; 12 – воздушный компрессор;
13 – вытяжной зонтик; 14 – вытяжной вентилятор

Экспериментальные исследования технологических процессов обработки деталей проводились на деталях из титанового сплава ВТЗ-1. Твердость этого сплава составляла $HВ 10^{-1} = 269 - 363$ Мпа.

Для экспериментов применялись образцы цилиндрической формы (Рис. 2). Перед проведением исследований все образцы проходили механическую обработку. Исходная шероховатость образцов составляла $Ra = 0.8$ мкм.

В качестве электролита использовался трехкомпонентный электролит, который состоял из водного раствора KF и NH_4F . Процентное соотношение компонентов вычислялось опытным путем.

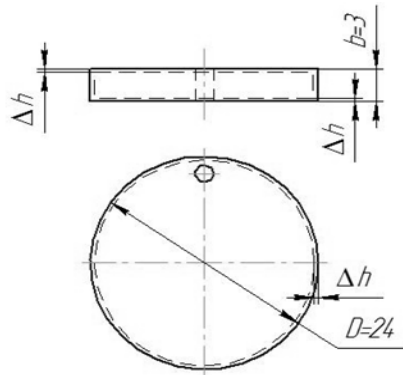


Рис. 2. Размеры и форма экспериментальных образцов для исследований

Результаты и их обсуждение. Определение рациональных режимов обработки по результатам экспериментальных исследований осуществлялось по плану Бокса–Бенкина. С его использованием был проведен трехуровневый трехфакторный эксперимент (таблица) и построена математическая модель процесса.

Факторы и уровни их вариации

Фактор	Обозначение	Единица измерения	Уровень вариации фактора		
			верхний	нулевой	нижний
			Кодированное обозначение		
			+1	0	-1
Напряжение	X1	В	380	340	300
Время обработки	X2	мин	6	4,5	3
Плотность тока	X3	А/см ²	0,3	0,25	0,2

Общее уравнение регрессии второго порядка имеет вид

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j . \quad (1)$$

После расчета и подстановки коэффициентов уравнение (1) приняло вид

$$Y = 0.46 + 0.463x_1 - 0.034x_2 + 0.075x_3 + 0.01125x_3^2 + 0.125x_1x_2 + 0.02x_2x_3 .$$

В уравнении все независимые переменные x_1, x_2, x_3 даны в относительных единицах. Значимость коэффициентов проверена по критерию Стьюдента (t-критерию). Оценка адекватности модели проведена с помощью F-критерия (критерия Фишера) [2].

По полученным уравнением были построены парные графики зависимости шероховатости от исследуемых факторов (Рис. 3).

В результате эксперимента был определен диапазон рациональных параметров ЭПП титановых сплавов ВТ3-1: время обработки – $t = 3 - 4$ мин; рабочее напряжение – $U = 300 - 350$ В; плотность тока – $j = 0.2 - 0.5$ А/дм² при постоянной температуре электролита $T = 85 - 90$ °С.

На основе экспериментальных исследований построена тройная диаграмма концентрации электролита (Рис. 4), используемого для полировки.

В результате экспериментальных исследований найдена область качественного трехкомпонентного электролита для ЭПП, состоящего из водного раствора KF (1–8 %) и NH₄F (1–5 %) [3].

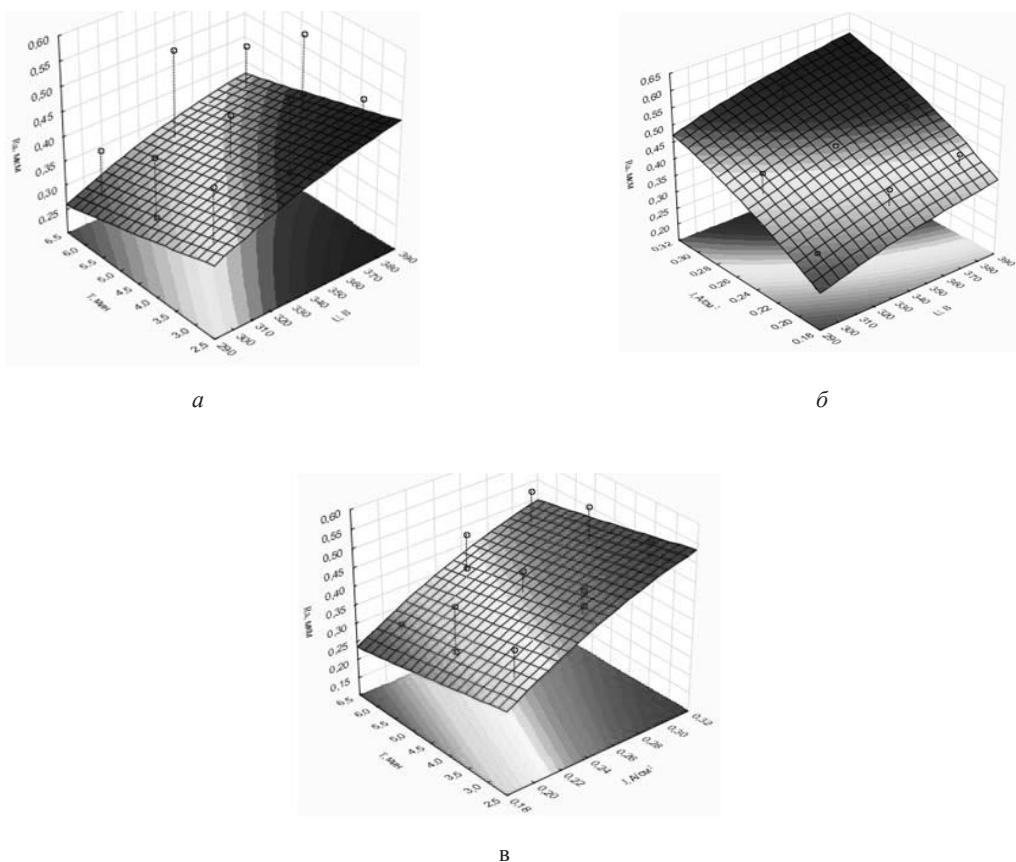


Рис. 3. Графики зависимости шероховатости от исследуемых параметров:
 а – зависимость шероховатости от времени обработки и напряжения;
 б – зависимость шероховатости от плотности тока и напряжения;
 в – зависимость шероховатости от времени обработки и плотности тока

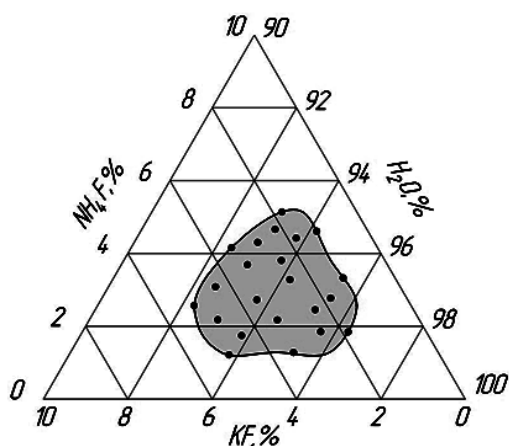


Рис. 4. Тройная диаграмма состава электролита

Експериментально доведено, що ЕПП обробки являється ефективною для підвищення якості поверхні, що підтверджується показаннями, отриманими на профілометрі при виміренні значення шероховатості експериментальних зразків до (Рис. 5) і після (Рис. 6) обробки. Достигнуто мінімальне значення шероховатості – $Ra \approx 0.07$ мкм при вихідній шероховатості $Ra = 0.8$ мкм.

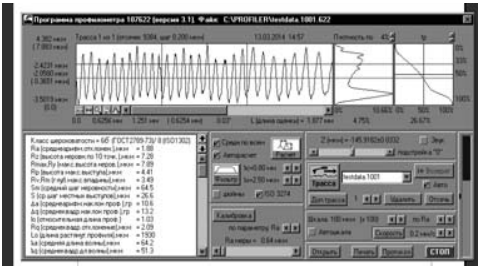


Рис. 5. Результаты замера шероховатости исходного образца

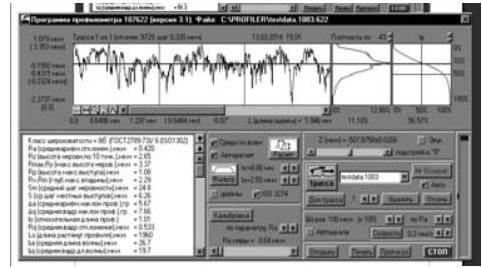


Рис. 6. Результаты замера шероховатости после ЭПП

Эффективность ЭПП по повышению качества поверхности титановых образцов также была подтверждена исследованием топографии поверхности до (Рис. 7) и после (Рис. 8) обработки.

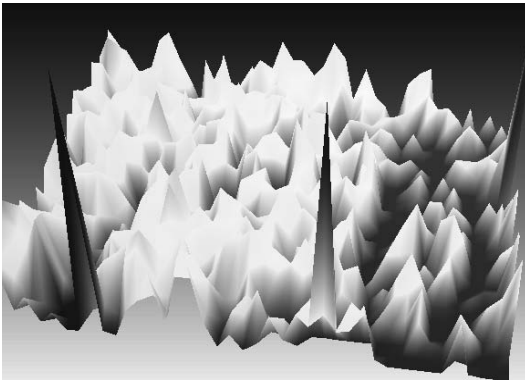


Рис. 7. Топография поверхности образца до обработки

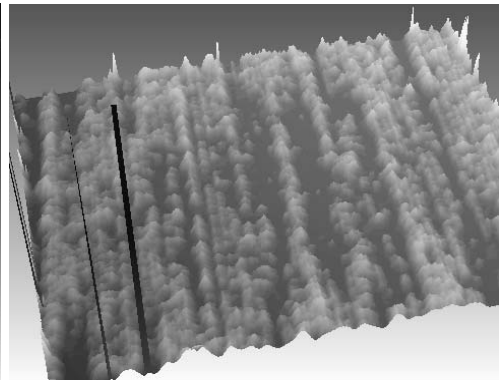


Рис. 8. Топография поверхности образца после обработки

В процессе исследования динамики электрофизических процессов, протекающих в режиме ЭПП, наблюдается наличие на вольт-амперной характеристике (ВАХ) отрицательного сопротивления $R = -\Delta U / \Delta I$ (Рис. 9), которое приводит к возникновению колебательных процессов в электролитной плазме.

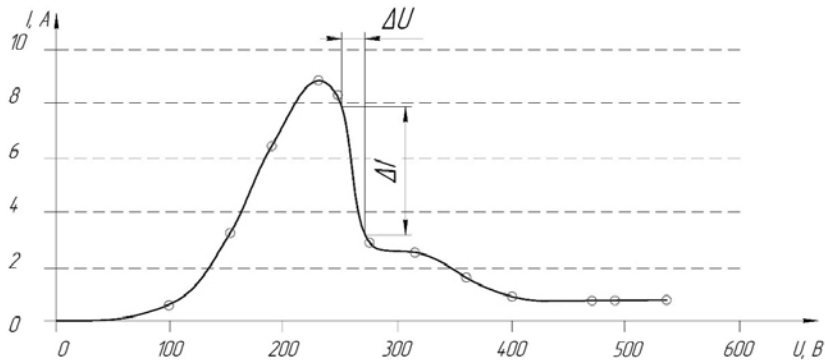


Рис. 9. Вольт-амперная характеристика процесса ЭПП

Исследования колебательных процессов показали наличие колебания в диапазоне 80 – 20 000 Гц. Анализ спектра осуществлялся с применением преобразования Фурье на осциллографе RIGOL DS1052. Изменение интенсивности спектра

колебания в ходе ЭПП позволяет контролировать качество обрабатываемой поверхности непосредственно в течении технологического процесса.

Таким образом, было выявлено, что при уменьшении шероховатости плотность колебаний высших гармоник уменьшается. Данная зависимость дает возможность автоматизации процесса полировки для достижения требуемой шероховатости. Осциллограммы процесса в начале и конце обработки показаны на Рис. 10 и 11 соответственно.

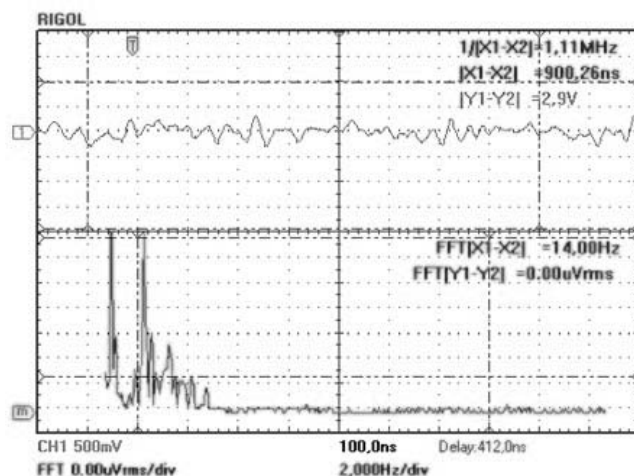


Рис. 10. Импедансные спектры в начале полировки

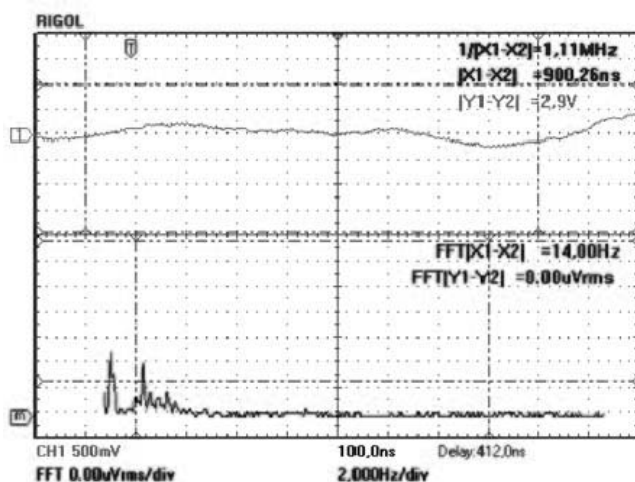


Рис. 11. Импедансные спектры в конце полировки (через 6 мин после начала обработки)

Выводы. В результате проведенных исследований:

1. Построена оптимизационная модель управляющих параметров процесса ЭПП (U – рабочее напряжение, В, j – плотность тока, А/дм², τ – время обработки, мин), определяющих получение шероховатости R_a до 0.1 мкм. Уравнение регрессии приняло вид

$$Y = 0.46 + 0.463x_1 - 0.034x_2 + 0.075x_3 + 0.01125x_3^2 + 0.125x_1x_2 + 0.02x_2x_3.$$

2. Определен диапазон оптимальных параметров ЭПП титанового сплава ВТЗ-1: время обработки – $t = 3 - 4$ мин; рабочее напряжение – $U = 300 - 350$ В; плотность тока – $j = 0.2 - 0.5$ А/дм² при постоянной температуре электролита $T = 85 - 90$ °С.

3. Найдена область качественного трехкомпонентного электролита для ЭПП, состоящего из водного раствора KF (1 – 8 %) и NH₄F (1 – 5 %).

4. Выявлена взаимосвязь колебательных процессов при ЭПП с шероховатостью поверхности. Доказано, что изменение интенсивности спектра колебания в процессе ЭПП позволяет контролировать качество обрабатываемой поверхности непосредственно в течении технологического процесса.

Библиографические ссылки

1. Куликов, И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов [Текст] / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Мн.: Беларус. наука, 2010. – 232 с.

2. Радченко, С. Г. Методология регрессионного анализа [Текст]: монография / С. Г. Радченко. – К.: Корнийчук, 2011. – 376 с.

3. Володько, Е. Г. Повышение эксплуатационных характеристик поверхностного слоя ответственных деталей с применением микродугового оксидирования [Текст] / Е. Г. Володько, В. А. Тутык, В. С. Гришин // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. «Ракетно-косм. техніка». 2014. – Вип. 18 – Т.2 – С. 46 – 51.

4. Володько, Е. Г. Планирование активного эксперимента для прогнозирования шероховатости при электролитно-плазменной полировке [Текст] / Е. Г. Володько, В. А. Тутык // Системні технології. – Д., 2015. – С. 163 – 166.

5. Володько, Е. Г. Повышение качества поверхностного слоя имплантатов из титановых сплавов с применением электролитно-плазменной полировки на финишных этапах обработки [Текст] / Е. Г. Володько, В. А. Тутык // Людина і Космос : тез. доп. XVII Міжнар. молодіжн. наук.-практич. конф., 8 – 10 квіт. 2015 р. / Нац. центр аерокосміч. освіти молоді ім. О. М. Макарова [та ін.]. – Д., 2015. – С. 134. – DVD, ISSN 2221-4550. – Загл. с экрана

Надійшла до редколегії 29.05.2015

УДК 621.317.39

Е. Ю. Голуб^{1,2}, А. В. Заболотный¹

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,
Украина*

² *НПП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Украина*

КОМПЕНСАЦИЯ «СОРТОВОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ» ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИМИ ВЛАГОМЕРАМИ. ПОИСК СПОСОБА

В целях решения проблемы сортовой зависимости диэлькометрических влагомеров проведен поиск способов, позволяющих компенсировать влияние сорта материала. В результате анализа разработана их классификация, в которой способы объединены в группы по принципу реализации. Выделены достоинства и недостатки каждой из групп. В соответствии с требованиями по компенсации влияния сорта материала выбрана группа тестовых методов измерения влажности, на наш взгляд наиболее перспективная.

Ключевые слова: влажность, диэлькометрический влагомер, сортовая неопределённость, тестовый метод.

Для вирішення проблеми сортової залежності дієлькометричних вологомірів проведено пошук способів, що дозволяють компенсувати вплив сорту матеріалу. В результаті аналізу розроблено їх класифікацію, в якій способи об'єднані в групи за принципом реалізації. Визначено переваги та недоліки кожної з груп. Відповідно до