Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр»

на тему: **«Модифікування металевих поверхонь електролітно-плазмовим методом»**

Виконала : студентка 4 курсу, групи НФ-41
Світлична Ірина Валеріївна
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: прикладна фізика енергетичних систем
Керівник к. ф.-м. н, доцент
Кулик Олександр Петрович

Харків - 2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології____
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) _бакалавр
Напрям підготовки 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»___

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ __В.І.Ткаченко
підпис

"____"_____2020_року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____ Світличної Ірини Валеріївни _____

1. Тема роботи «Модифікування металевих поверхонь електролітно-плазмовим методом»

керівник роботи: Кулик Олександр Петрович, к. ф.-м. н, доцент

затверджені наказом по університету від "05" грудня 2019 р. № 0210-05/2249

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2020 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

Провести аналітичний огляд літератури по методам обробки поверхні матеріалів. Вивчити особливості методу електролітно-плазмової обробки поверхні. Ознайомитись з роботою установки електролітно-плазмового полірування. Підготувати металеві зразки для обробки. Провести обробку зразків поверхні та дослідити їх властивості. Сформулювати результати дослідження. Оформити та написати бакалаврську роботу.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вивчення характеристик геометричних властивостей поверхні
2	Огляд найбільш актуальних методів обробки поверхонь матеріалів
3	Вивчення фізичних основ та знайомство з особливостями методу електролітно-плазмової обробки поверхні
4	Дослідження принципу дії та технологічних етапів роботи установки електролітно-плазмового полірування
5	Підготовка металевих зразків для обробки електролітно-плазмовим методом
6	Проведення електролітно-плазмової обробки зразків поверхні та дослідження їх властивостей
7	Формулювання результатів досліджень. Оформлення та написання бакалаврської роботи

5. Дата видачі завдання 10 вересня 2019 р.

Студент _____ І. В. Світлична

Керівник роботи _____ О. П. Кулик

Реферат

Світлична Ірина Валеріївна «Модифікування металевих поверхонь електролітно-плазмовим методом» (випускна робота бакалавру), - Харків: ХНУ. імені В.Н. Каразіна, 2020.- 48 с.

Робота присвячена вивченню особливостей модифікації металевих поверхонь електролітно-плазмовим методом. Вона складається з вступу, двох розділів, висновків, містить 13 малюнків, список використаних джерел з 23 найменувань. Були вивчені процеси, які відбуваються під час занурення зразка в електроліт, побудовані графіки залежності зміни температури електроліту від часу обробки, залежність струму від часу обробки при різних початкових температурах електроліту. У роботі були представлені малюнки до і після обробки, а так само малюнки поверхні через кожні 30 секунд обробки, для того, щоб побачити залежність якості обробки поверхні в залежності від часу обробки. Отримані результати дозволяють досягти якісного поліпшення експлуатаційних властивостей поверхні міді.

Ключові слова: електролітно-плазмове полірування, металообробка, рельєф поверхні; модифікація поверхні; температура електроліту

Abstract

Svitlychna Iryna Valeriivna "Modification of metal surfaces by electrolyte-plasma method" (bachelor's thesis), - Karazin Kharkiv National University, 2020.- 48 p.

The work is devoted to the study of the peculiarities of the modification of metal surfaces by the electrolytic-plasma method. It consists of an introduction, two sections, conclusions, contains 13 figures, a list of sources used with 23 names. The processes that occur during the immersion of the sample in the electrolyte were studied, graphs of the dependence of the change in electrolyte temperature on the processing time, the dependence of the current on the processing time at different initial temperatures of the electrolyte. The paper presents drawings before and after processing, as well as drawings of the surface every 30 seconds of processing, in order to see the dependence of the quality of surface treatment depending on the processing time. The obtained results allow to achieve high-quality engagement of copper with improvement of operational properties of a surface.

Keywords: electrolytic-plasma polishing, metal working, surface relief; modification of the surface; temperature of electrolyte

Зміст

Вступ

Розділ 1. Проведення літературного аналізу

1.1. Характеристики геометричних властивостей поверхні

1.2. Вивчення методів обробки поверхні

1.3. Електролітно-плазмова обробка

Розділ 2. Проведення експериментів по поліпшенню поверхневих властивостей .

2.1. Опис робочої установки.

2.2. Підготовка поверхні перед обробкою.

2.3. Процеси які виконуються при електролітно-плазмовому поліруванні металів та результати.

Висновок

Список літератури

Вступ

У сучасному світі все більшого значення набуває електролітно-плазмова полірування як екологічний та економічний метод фінішної обробки поверхні металу.

З кожним роком необхідність в екологічно чистих технологіях зростає. Однією з цих технологій є метод електролітно-плазмового полірування. Так як характерно використання не токсичних електролітів, які не вимагають утилізації.

Незважаючи на велику кількість публікацій в журналах, електролітно-плазмова полірування залишається інноваційним методом обробки поверхні, яку потрібно вивчати, щоб поліпшити розуміння фізичних процесів[1, 2,3,4 ,5].

Метою даної роботи є дослідження поверхневих властивостей мідної поверхні після електролітно-плазмового обробки поверхні. Об'єктом дослідження є структурні властивості поверхні металів. Предметом дослідження є зміна властивостей поверхні міді у процесі електролітно-плазмової обробки. Матеріалом для дослідження була вибрана мідь, так як вона пластична, легко піддається обробці. Однак іноді її пластичність є перепоною для обробки. При використанні механічної поліровки частинки абразиву потрапляють на поверхню, яка обробляється, при цьому погіршується експлуатаційні характеристики поверхні. Для міді використовуються різні методи не механічною полірування [6].

На відміну від попередніх робіт в якості електроліту використовували розчин сульфату амонію з додаванням сірчаної кислоти. Це дозволило отримати оптимальні режими полірування мідних виробів. Електролітно-плазмове полірування має потенційно широку область застосування. Наприклад медицина (протези суглобів, закріпи конструкції для ушкоджених кісток, зубні протези, тощо), електротехніка, прилади для хімічної і

фармацевтичної промисловості, машинобудування та іноді харчова промисловість.

Розділ 1. Проведення літературного аналізу

1.1 Характеристики геометричних властивостей поверхні

Для характеристики геометричних властивостей поверхні зараз використовуються такі визначення [7]:

- Текстура поверхні (Surface texture) ICO 4287: 1997 – це повторювані і випадкові відхилення від геометричної (Номінальною) поверхні, які формують тривимірну топографію поверхні. Текстура поверхні включає шорсткість, хвилястість, напрямок нерівностей, вади поверхні і відхилення форми в межах обмеженій поверхні.
- Шорсткість поверхні (Surface roughness) – сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділеними, наприклад, за допомогою базової довжини. Шорсткість поверхні - це сліди, залишені на поверхні в результаті впливу на неї технологічного процесу (точіння, фрезерування, стругання, шліфування, доведення, лиття, пресування, електроерозії і т.д.). Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють без урахування вад поверхні.
- Хвилявість поверхні (Surface waviness) - другий тип нерівностей. Нерівності, що відносяться до хвилястості, виникають в внаслідок зовнішніх впливів (наприклад, вібрацій) і коливань верстата. Іноді хвилястість може бути викликана внутрішніми напруженнями в самій заготівлі. На відміну від високочастотної природи шорсткості, хвилястість має низькочастотну природу.
- Напрямок нерівностей (Lay) - це напрямок переважаючого малюнка поверхні. Напрямок нерівностей - умовний малюнок, утворений нормальними проекціями екстремальних точок нерівностей поверхні на середню поверхню. Напрямок нерівностей зазвичай визначається технологічним процесом.

- Вада поверхні (Imperfection) - елемент, нерівність або група елементів, або нерівностей реальної поверхні, ненавмисно або випадково утворені під час виробництва, зберігання або використання поверхні. До недоліків поверхні відносяться подряпини, пори, тріщини, задирки і т.п.

Так на зносостійкість поверхні впливають опірність поверхневого шару руйнуванню і макрогеометричні відхилення, які викликають нерівномірне зношування окремих ділянок. Хвилястість призводить до збільшення питомого тиску, так як труться поверхні стикаються з виступами хвиль. Вершини макронерівностей можуть викликати розриви масляної плівки, внаслідок чого в місцях розривів створюється сухе тертя. Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні, так як наявність рисок, глибоких і гострих подряпин створює осередки концентрації внутрішніх напружень, що приводять до руйнування деталей. Такими осередками можуть бути і западини між гребінцями мікронерівності, що не відноситься до деталей з чавуну і кольорових сплавів, в яких концентрація напружень можлива в меншому ступені. Від шорсткості поверхні (особливо від висоти мікронерівностей) залежить міцність пресових з'єднань, оскільки при запресовуванні однієї деталі в іншу фактична величина натягу залежить від шорсткості поверхні і відрізняється від величини натягу при запресовуванні деталей з гладкими поверхнями для тих же діаметрів.

Шорсткість поверхні деталі значно впливає і на її корозійну стійкість, так як зі зменшенням мікронерівності поверхні зменшується і площа зіткнення з кородуючої середовищем, отже, менше вплив середовища. Зі збільшенням глибини западин мікронерівності і різкості їх обрисів підвищується руйнівну дію корозії, спрямоване в глиб металу шорсткість прийнято характеризувати наступними параметрами [8] (див. Рис. 1.1): висотні параметри:

- R_a - середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини;
- R_z - сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини;
- R_{max} - найбільша висота профілю;

крокові параметри:

- S_m - середній крок нерівностей;
- S - середній крок місцевих виступів профілю;
- t_p - відносна опорна довжина профілю, де p - значення рівня перетинів профілю з ряду 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%.

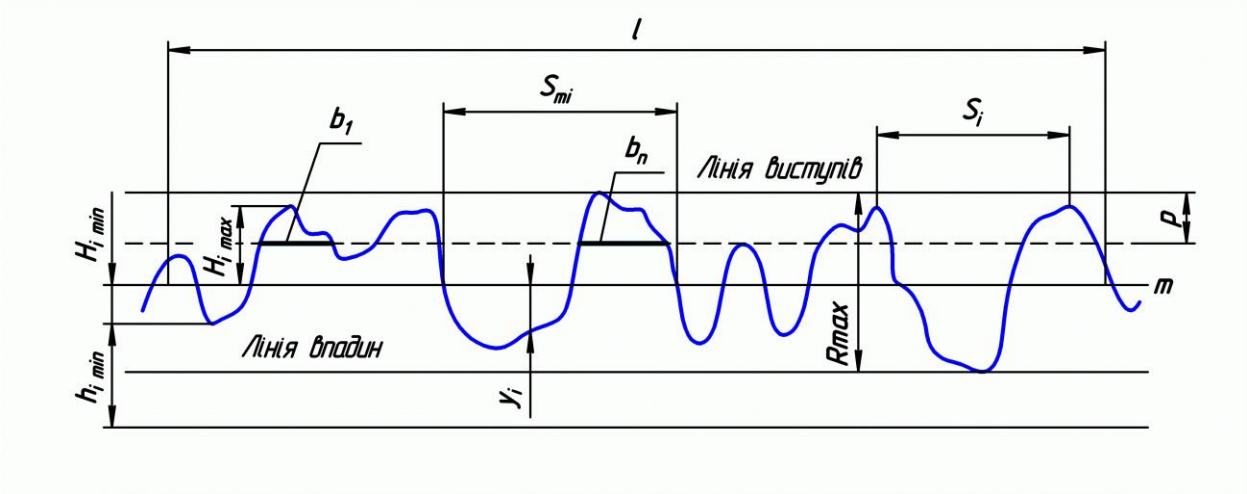


Рис. 1. 1. Нормальний профіль і параметри шорсткості поверхні. На малюнку схематично показані параметри шорсткості, де: l - базова довжина; m - середня лінія профілю; S_{mi} - середній крок нерівностей профілю; S_i - середній крок місцевих виступів профілю; $H_{i\ max}$ - відхилення п'яти найбільших максимумів профілю; $H_{i\ min}$ - відхилення п'яти найбільших мінімумів профілю;

$h_{i\,max}$ - відстань від найвищих точок п'яти найбільших максимумів до лінії, паралельної середньої і не перетинає профіль; $h_{i\,min}$ - відстань від нижчих точок п'яти найбільших мінімумів до лінії, паралельної середньої і не перетинає профіль; R_{max} - найбільша висота профілю; y_i – відхилення профілю від лінії m; p - рівень перетину профілю; b_n – довжина відрізків, що відсікаються на рівні p.

Для зменшення параметрів шорсткості поверхні виробів вдаються до технологічних операцій шліфування та полірування. Шліфування та полірування застосовуються як в якості декоративної обробки [9] так і як операції при нанесенні гальванічних покриттів [10]. Полірування поверхні підкладок є невід'ємною частиною технологічного процесу, так в довіднику «Технологія тонких плівок» Л. Майссела і Р.Гленга питання шорсткості підкладок приділяється велика увагу, даються методи оцінки шорсткості і розглянуто вплив текстури поверхні на тонко плівкові компоненти [11,12].

1.2. Вивчення методів обробки поверхні

На даний момент існує багато різних методів обробки поверхні. У роботі розглянемо 5 найпопулярніших та порівняємо:

1. Шліфування - механічна або ручна операція по обробці матеріалів (деревина, метал, стекло, бордюр, алмаз та ін.). Різновидність абразивної обробки, яка, у своїй очевидності, являє собою різновидність різання . Механічне шліфування зазвичай використовується для обробки твердих та крихких матеріалів в заданому розмірі з точністю до мікрона, а також для досягнення необхідної шорсткості виробів, дозволених ГОСТом. У якості охолодження зазвичай використовуються мастильно-охолоджуючі рідини (МОР).

У примітивних випадках застосовують твердий зернистий пісок або більш твердий наждак, насипають його на тверду поверхню і труть про неї обробляють предмет. Незграбні зерна, катаючись між обома поверхнями, справляють велике число ударів, від яких руйнуються потроху видатні місця цих поверхонь, округлюються і розпадаються на частини самі шліфуючі зерна. Якщо ж одна з поверхонь м'яка, зерна в неї вдавлюються, залишаються нерухомими, і роблять на другий поверхні ряд паралельних подряпин; в першому випадку отримують матову поверхню, покрита рівномірними ямками, а в другому - так званий «штрих», надає поверхні блиск, що переходить в полірування, коли штрих як крейда, що стає непомітним для ока. Так, при шліфовці двох мідних пластинок однією по іншій з наждаком, обидві вийдуть матовими, а той же наждак, наклеєний на поверхню паперу, при терті по латунній поверхні додасть їй блиск.

Крихке, тверде скло стирається більше м'якою і пружною металевою пластинкою, а порошок алмазу може терти поверхню самого алмазу. Шматки кварцу можна обробляти на жорні з пісковику. Ямки, вироблені зернами наждаку, дрібніші, ніж самі зерна; тому шліфуванням можна отримувати найбільш точно оброблені поверхні, як це роблять при шліфуванні оптичних стекол.

Види шліфування:

- Машинне шліфування:
  - плоске шліфування - обробка площин і сполучених плоских поверхонь [13];
  - стрічкове шліфування - обробка площин і сполучених плоских поверхонь «нескінченними» (зімкнутими в кільце) стрічками;
  - кругле шліфування - обробка циліндричних і конічних поверхонь валів і отворів.

Кругле шліфування поділяється на внутрішнє (розточування) і зовнішнє. Внутрішнє ж в свою чергу ділиться на звичайне і планетарне (звичайне -

відношення діаметра отвору деталі до діаметру абразиву D = 0,9d, планетарне - D = (0,1 ... 0,3) d);

- без центрове шліфування - обробка в великосерійному виробництві зовнішніх поверхонь (вали, обойми підшипників та ін.) [14];
- різьбошліфування;
- зубошліфування, шліцешліфуваня.

Області застосування:

- Машинобудування
- Верстатобудування
- Оптика
- Ювелірна справа

Основою шліфувального інструменту є зерна абразивного матеріалу, що виконують функції мікрорізців, які здійснюють мікрорізання оброблюваного матеріалу і пластичне деформування поверхневого шару металу. [16]

Для виробництва шліфувальних інструментів використовуються наступні абразивні матеріали: традиційні абразиви (електрокорунд і карбід кремнію), мікрокристалічний (золь-гелевий) корунд, отриманий за спеціальною хімічної технологією, суперабразиви (надтверді матеріали - ельбор і алмаз).

Типи шліфувальних інструментів:

- Шліфувальні кола на керамічної і органічній зв'язці.
- Шліфувальні бруски.
- Шліфувальні головки.
- Ельборові кола на керамічних зв'язках застосовується для обробки високоточних деталей з сталей і сплавів твердістю HRC> 50, зносостійких покриттів.
- Ельборовий інструмент на органічних зв'язках, в тому числі відрізні круги, застосовуються, головним чином, на операціях заточування

інструменту (свердла, фрези, різці і т. Д.) З швидкорізальних сталей, вишліфовці стружкових канавок, відрізки і прорізки пазів.

- Алмазний інструмент на органічних зв'язках, в тому числі відрізні круги, застосовуються для заточування різального інструменту з твердих сплавів, деталей з композиту і кераміки. Алмазні відрізні круги застосовуються для високоточної різки твердого сплаву, технічної кераміки, кольорових металів, кварцового скла, феритів, кварцу.
- Алмазний інструмент на керамічних і металевих зв'язках застосовується при шліфуванні твердосплавних деталей (пуансонів, калібрів, валків і ін.), Для шліфування ріжучих пластин з композиційних матеріалів, деталей з поєднання сталі і твердого сплаву, а також для виправлення шліфувальних кіл.
- Алмазні відрізні круги на металевих зв'язках використовуються для обробки і різання скла, кришталю, дорогоцінних і напівкоштовних каменів. Бруски з синтетичного алмазу на металевій зв'язці використовуються для чорнового і чистового хонингования деталей з чавуну і сталі.
- Спеціальний абразивний інструмент, в тому числі високо пористий, застосовують у виробництві турбін при шліфуванні деталей з в'язких, високо пластичних сплавів (жароміцних, титанових), для беспріжогового продуктивного шліфування зубчастих коліс, а також для шліфування кольорових сплавів, полімерних покриттів на валах папероробних машин.
- Шкурка і паста з ельбору та алмазу використовуються для фінішних операцій, притирання і полірування, з метою отримання поверхонь з мінімальною шорсткістю (R_a = 0,08-0,02 мкм).
- Гнучкий шліфувальний інструмент (див. Рис.1.2): шліфувальні листи різної форми (прямокутні, трикутні, круглі), стрічки, пелюсткові круги

(торцеві і радіальні), сітчасті і фіброві диски, щітки з абразивно-наповнених волокон, абразивно-наповнені губки [15]. Гнучкий шліфувальний інструмент використовується як для ручної, так і для механічної обробки поверхонь. Шліфувальні аркуші (шліфувальні шкурки) прямокутної форми можуть кріпитися на колодці або підошві шліфувальної машини за допомогою затискачів або липучою поверхні, трикутні, круглі і т.п. - тільки за допомогою липкої поверхні.

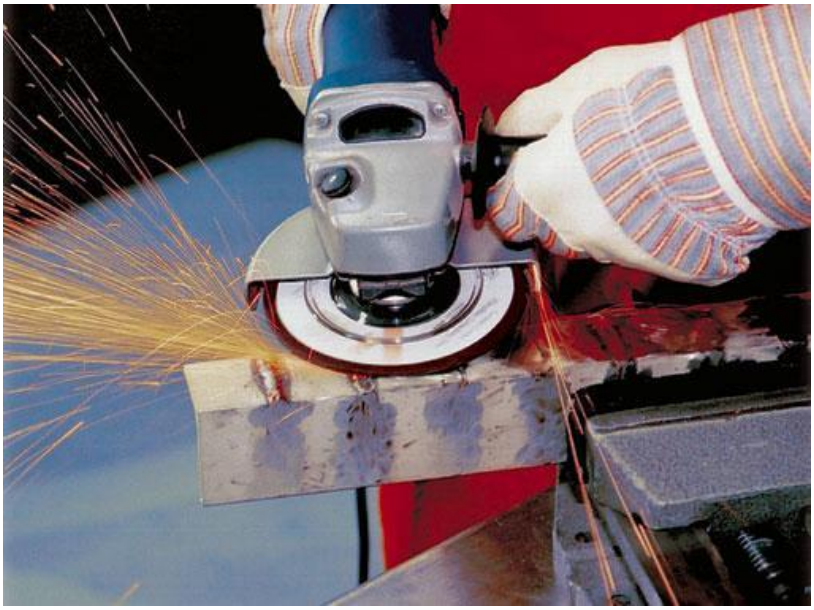


Рис. 1.2 Шліфування гнучким шліфувальним інструментом за допомогою шліфувального листа круглої форми

2. Полірування - зняття найтонших шарів оброблюваного матеріалу механічними, хімічними, електролітичними або методами іонного опромінення, додання поверхні малої шорсткості і дзеркального блиску.

Полірування є обробною операцією обробки металевих та неметалевих поверхонь.

Види полірування:

- Ручне полірування (в одиничному виробництві і при ремонтних роботах).
- Ручне полірування із застосуванням полірувальних кіл (див. Рис. 1.3).
- Машинне полірування (серійне та багатосерійне виробництва, полірування точне і унікальне).
- Гідроабразивне полірування (багатосерійне і масове виробництво).
- Магнітно-абразивне полірування (дрібносерійне та серійне виробництво).
- Ультразвукове полірування (середнє серійне виробництво, полірування твердих сплавів).
- Електролітичне полірування (масове виробництво).
- Хіміко-механічне полірування (обробка твердих сплавів на кобальтовій зв'язці).
- Іонно-плазмове полірування (в одиничному виробництві).

Верстати та інструменти для полірування:

Для механічного машинного полірування застосовуються:

- Бормашина з гнучким шлангом з цанговим затискачем.
- Шліфувальні машини.
- Електроточило.

Такі машини мають регулятор, що дозволяє в значних межах змінювати частоту обертання полірувальних кіл, стрічок і щіток. Як полірувальних кіл використовують повстяні диски, диски з бавовняних тканин, вовни, шкіри і т. Д. Для механічного полірування застосовують також щітки, виготовлені з латуні, щетини та інших матеріалів [17].

Для полірування вручну використовують полірувальні палички і дерев'яні бруски, на які наносять полірувальні пасти з оксидів хрому або заліза. На рівних металевих площинах блиску можна досягти за допомогою полірувального напилком - бруска, обтягнутого м'якою шкірою, на яку наносять полірувальні пасти.



Рис. 1.3. Полірування полірувальними кругами

Для проведення полірування застосовуються спеціальні тонкі абразивні матеріали разом з допоміжними речовинами (олеїн, церезин і ін.) звані полірувальними складами або пастами. У побуті люди часто зустрічають такі пасти як ГОІ і ін. Для полірування застосовують як природні, так і синтетичні речовини і їх головною особливістю є надзвичайно малі розміри абразивного зерна (від 0,05 до 50 мк). Ось найуживаніші абразивні матеріали для полірування:

- Алмаз (швидкісне полірування, полірування твердих матеріалів).
- Карбід кремнію (титан).

- Карбід титану (полірування сталей і мідних сплавів).
- Карбід цирконію (полірування нержавіючих і спеціальних жароміцних сплавів).
- Борід гафнію (зрідка при поліруванні твердих сплавів).
- Нітрид титану (різні матеріали).
- Корунд (Метали та скло (рідко)).
- Оксид хрому (Cr2O3) - порошок зеленого кольору, випускається трьох марок: ОХМ-1 (металургійна), ОХП-1 (пігментна) і ОХЧ-1 (годинна) з вмістом чистого продукту в перерахунку на не менше 98 ... 99% і вологи не більше 0,15%. Застосовується при обробці кольорових і чорних металів (пасти ГОІ).
- Окис церію (полірування дзеркальних і оптичних стекол).
- Діоксид титану (полірування кольорових металів і скла).
- Крейда (полірування кольорових металів).
- Крокус (бронза, латунь, мідь, срібло, золоті сплави).
- Сурик (мідні сплави, м'які сталі).
- Діоксид олова (ювелірні вироби)
- Полірит - порошок коричневого кольору, містить до 97% оксидів рідкоземельних елементів (в тому числі до 45% окису церію). Застосовується для полірування скла і напівпровідникових матеріалів.
- Аеросил є чистою двоокису кремнію, пухкий голубувато-білий порошок Молекулярна маса 60,08. Випускався в вигляді трьох марок: А-175, А-300 і А-380, в яких середній розмір часток дорівнює: від 10 до 40 нм, від 5 до 20 нм і від 5 до 15 нм.
- Полірувальний порошок «Елплаз» - застосовувався для фінішного полірування напівпровідникових пластин і випускався трьох марок: А (для високошвидкісної обробки кремнієвих пластин), Б (для обробки

кремнієвих пластин на полировальник з електростатичного замші) і В (для обробки напівпровідникових з'єднань типу AIIIBV і AIIBVI) .

Допоміжні речовини при проведенні полірування виконують такі функції:

- Утримання ріжучих зерен (в основному адегезійне (прилипання)).
- Охолодження.
- Хімічне руйнування оброблюваного матеріалу (зняття окисних плівок).
- Фізичне прискорення руйнування (ефект Ребіндера).

Найчастіше допоміжними речовинами є:

- Олеїнова кислота (у складі паст).
- Віск (в складі паст).
- Стеарин (в складі паст).
- Масла (в складі паст).
- Вода (гідроабразивне полірування).
- Мінеральні кислоти і солі у вигляді електролітів (електролітичне полірування).
- Газ (гідроабразивне полірування).
- Солі важких металів при хіміко-механічній обробці (сульфат міді, нітрат міді або нітрат срібла).

3. Механічне полірування - фінішна обробка поверхонь деталей механічним способом здійснюється на основі використання абразивних кіл і стрічок з полірувальними пастами або за допомогою барабанних і вібраційних установок. Застосування паст дозволяє досягати величини шорсткості поверхні R_a = 0,05-0,12 мкм. При цьому процес полірування, як правило, пов'язаний з використанням ручної праці.

Для полірування використовуються шліфувальні верстати, оснащені еластичними повстяними і матер'яними колами з нанесеними на них полірувальними пастами. Останні включають в себе мікропорошок, зв'язки і добавки поверхнево-активних речовин, що надають активуючий вплив на оброблювану поверхню металу. Типова паста складається з 60-70% абразиву і 30-40% зв'язки. Зміст активують добавок не перевищує 2%.

Інтенсифікувати процес полірування можна шляхом застосування паст, що містять 2-8% мікропорошку синтетичних алмазів. При цьому полірування відбувається в кілька стадій. Спочатку використовують жирні пасти з більш грубим абразивом, нанесені на жорсткі матерчаті кола, при підвищеній частоті обертання.

Фінішне полірування з досягненням високого блиску поверхні проводять м'якими колами при невеликій частоті обертання і сухими пастами з тонкими абразивами. При цьому витрата матеріалів на полірування 1 $м^2$ поверхні деталей становить 0,02-0,3 повстяних кіл і 100-120 грам пасти типу ГОІ. При поліруванні деталей складного профілю використовуються еластичні стрічки у вигляді смуг або пучків з тими ж пастами. Значно більшою продуктивністю відрізняється полірування на барабанних установках, в які деталі завантажуються насипом у великій кількості. При такому способі полірування досягається зниження величини параметра шорсткості від R a = 1,6-0,8 мкм до R_a = 0,20-20 мкм. Використання вібрації і планетарного обертання дозволяють підвищити продуктивність в 8-10 разів.

Іноді використовується полірування в барабанних установках без рідкого середовища. Поліруючими матеріалами в даному випадку є шматки шкіри, фетру, замші, суха тирса дуба, ясена, граба. Співвідношення оброблюваних деталей і наповнювача становить 1: 2-1: 6, шкіри - 1: 30-1: 50.

Блискуча поверхня сталевих деталей досягається шляхом використання слаболужного розчину з абразивом у вигляді сталевих полірувальних кульок діаметром 9-18 мм. Можливе зниження величини шорсткості до R_a = 0,32-0,63 мкм. Інтенсивність полірування в барабанних установках можна підвищити, поєднуючи механічний вплив засобу для полірування матеріалу з хімічним. При цьому кисле середовище полегшує видалення з поверхні металу шару окислів, а лужна знижує ріжуче дію абразивів.

В даний час широко використовується так зване підводне полірування в барабанних установках з рідким середовищем, якої є 0,2-0,7% розчин господарського мила. Попереднє знежирення деталей є обов'язковою операцією, необхідною для хорошої якості обробки. Для підвищення інтенсивності процесу розчин нагрівають до 40-50оС.

Довговічність розчину не перевищує 24 годин, після чого необхідно його повністю замінити. При всьому своєму різноманітті механічне полірування досить трудомістке, екологічно шкідливе і вимагає великої кількості витратних матеріалів.

Недоліки механічного полірування:

- Обмеження у складності поверхні
- Абразиви впроваджуються в структуру металу
- шкідливість
- ресурсомісткість:
    - кілька стадій
    - різні установки
    - високі витрати часу
    - складність управління процесом

Хімічна поліровка має великий потенціал як заміна механічних способів обробки, особливо в сфері декоративного оздоблення виробів виготовлених з алюмінію, міді і її сплавів, а так же виробів з благородних металів [18].

4. При хімічному поліруванні вплив розчину на метал поєднується з дією гальванічного пару на його поверхні, що викликає утворення пасивуючої оксидної плівки. Безпосереднім результатом хімічного полірування є згладжування мікронерівностей і освіту блиску поверхні з одночасним розчиненням верхнього шару. Збільшення блиску пов'язане із запобіганням травлення металу внаслідок утворення на його поверхні пасивуючої окисної плівки, яка виникає під впливом взаємодії оброблюваного металу з компонентами розчину. Однак електрохімічна поліровка призводить до отримання кращого блиску поверхні ніж при хімічної.

Якість полірованої поверхні залежить від співвідношення швидкості формування плівки і її розчинення в рідині. Переважання першої призводить до оксидуванню, другий - до травленню металу. Найбільший блиск поверхні досягається при мінімальній товщині оксидної плівки, яка повинна бути достатньою для запобігання отруйної дії розчину на метал, а це можливо при рівності швидкості процесів формування та хімічного розчинення утворення окисної плівки. Товщина плівки при хімічному поліруванні менша, ніж при електрохімічному. Це пояснює меншу ефективність згладжування мікронерівності і підвищення блиску поверхні металу. Як приклад на Рис.1.4 наведено зразки з міді до та після полірування.



Рис.1.4. Зразки з мідних сплавів до та після хімічного полірування

Позитивні результати полірування міді марки М 2 досягаються в розчині наступного складу: сірчана кислота - 34%, соляна кислота - 6,5%, азотна кислота - 4,5%, хлористий натрій - 0,5%, вода - 54%, барвник кислотний чорний 3М - 0,5%. Коригування розчину полягає в періодичному додаванні води та азотної кислоти. Обробку проводять протягом 3-10 хвилин при температурі 70-75оС.

Зі збільшенням вмісту в розчині солей заліза, час обробки збільшується до 15-20 хвилин. Якість поверхні при хімічному поліруванні залежить від об'ємної щільності завантаження деталей у ванні. При занадто великому завантаженні виникає нерівномірність обробки поверхні, можливо її травлення і утворення інших дефектів внаслідок ускладненого доступу розчину до поверхонь виробів.

Після хімічного полірування деталі необхідно ретельно промити в проточній воді і висушити. Доцільно проводити хімічне пассивируваня полірованих виробів [19]. Слід зазначити меншу трудомісткість і

енергоємність хімічного полірування в порівнянні з механічним. Однак процес хімічного полірування пов'язаний з наступними недоліками:

- технологічна складність
- Високий відсоток браку
- Токсичність і пожежонебезпека
- корозія обладнання
- Дорога утилізація відходів.

5. Електрохімічна обробка замінює трудомісткі механічні методи і не призводить до небажаних структурних змін в поверхневому шарі виробів. Поверхня після травлення в багатьох випадках має більш високу корозійну стійкість і поліпшені механічними властивостями. Електрохімічне полірування - це обробка поверхонь деталей, занурених в електроліт, який представляє собою розчин, зазвичай містить кислоти. В процесі обробки при постійній напрузі 10-20 В виріб підключається до позитивного полюсу (аноду) джерела живлення.

При анодному електрохімічному поліруванні процес згладжування мікрошороховатість на рівні субмікрорельефу поверхні пов'язаний з наявністю на металі пасивуються плівки. Ступінь зменшення шорсткостей визначається величиною електричного заряду, що пройшов через електроліт. В ході електролізу, поряд зі зменшенням висоти мікровиступів, відбувається округлення їх вершин і формування хвилеподібного мікрорельєфу поверхні. Дані процеси викликаються нерівномірністю розподілу електричного струму по мікрорельефу поверхні і концентраційними змінами електроліту в при анодному шарі. Якість електрохімічної обробки залежить від складу металу або сплаву, ступеня залишкової деформації, товщини оброблюваної деталі.

При використанні електрохімічного полірування для отримання поверхні хорошої якості необхідно перед обробкою переконатися, що на

деталях немає глибоких рисок, забоїн, раковин, так як вони не усуваються при електрохімічній обробці. Найбільш високий блиск поверхні досягається на невеликих деталях, причому плоскі поверхні поліруються гірше, ніж циліндричні.

Електрохімічне полірування проводиться в звичайних гальванічних ваннах (див. Рис.1.5) з обов'язковим щільним контактом підвісного пристрою з деталями і електродної штангою. Найбільш довговічне оснащення з титану, який не руйнується в електролітах. Для надійності електричного контакту підвіски з деталями рекомендується утворену на них окисну плівку періодично видаляти, використовуючи розведену сірчану кислоту.



Рис. 1.5. Гальванічна ванна

Основою промислових електролітів для електрохімічного полірування служать ортофосфорна або хлорне кислоти. У хлорнокислий електролітах обробляється алюміній, цинк, свинець, титан. У трикомпонентних фосфорно-сірчано-хромокисле електролітах обробляються стали різних марок, а в

фосфорно-сірчанокислих - нержавіючі сталі аустенітного класу - 12Х18Н10Т, Х17Г9АН4.

Для підвищення стійкості до корозії рекомендується обробляти сталеві деталі після електрохімічного полірування розчином NaOH протягом 15-20 хвилин при температурі 60-70^{o}С. У разі нанесення на виріб гальванічного покриття, для поліпшення зчеплення покриття з деталлю необхідно піддати його електрохімічній обробці в 3-5% розчині соляної кислоти [20].

Незважаючи на досить широку сферу застосування, електрохімічний метод має суттєві недоліки, такі як:

- висока енергоємність
- Токсичність, легко займистість і вибухонебезпечність
- технологічна складність
- Обмеження номенклатури оброблюваних металів
- корозія обладнання

1.3. Електролітно-плазмова обробка

Установка електролітно-плазмового полірування відноситься до високотехнологічного обладнання, що дозволяє за досить короткий проміжок часу (не більше 5 хвилин) досягати дзеркальної поверхні і високого класу шорсткості виробів з нержавіючої сталі, латуні, міді, алюмінію, титану, свинцю та інших струмопровідних матеріалів без використання будь-яких шкідливих речовин. Що в свою чергу збільшує продуктивність будь-якого виробництва.

Електролітно-плазмове полірування (ЕПП) в основному застосовується:

- високоякісне полірування деталей різного профілю. При цьому досягаючи параметра шорсткості до R = 0,04 мкм, і підвищення якості полірованої поверхні на 3 ÷ 4 параметра;

- зачистки задирок товщиною до 0,3 мм;
- притуплення гострих кромок;
- зняття абразивних вкраплень;
- видалення кольорів мінливості після зварювання;
- підготовка виробів до подальшого наненсенія покриттів;
- дезактивація і очищення вузлів і механізмів, що мають високу дозу радіації;
- використання в якості електроліту розчину, що містить нешкідливі, дешеві широко поширені хімічні речовини;
- можливість суміщення в одній операції процесів очищення і полірування поверхні виробу.

Технологічний процес електроплазмового полірування складається з наступних технологічних операцій:
Підготовка деталі до полірування, кріплення на спеціальному підвісі.

- Завантаження на підвіску - зазвичай вручну (маються розробки системи маніпулятора).
- Плазмове полірування включає в себе автоматичне виконання полірувальною установкою режими роботи - подача напруги на підняту підвіску, повільне опускання в електроліт, витримка 2 ÷ 8 хвилин, підйом підвіски з деталями, відключення напруги. Допускається повторна обробка.
- Промивання в теплій воді - кілька хвилин.
- Сушка - теплим повітрям.
- Вивантаження - вручну.
- Контроль.

Основною перевагою плазмової полірування є її простота у використанні і розміщення на виробництві. Для роботи установки електролітно-плазмового обробки необхідно здійснити підведення:

- водопровідної води або системи оборотного водопостачання,
- витяжної вентиляції,
- каналізації,
- стисненого повітря (при наявності),
- необхідної потужності 380 В, 50 Гц.

Устаткування розташовується на площі від 1 до 15 квадратних метрів в залежності від потужності установки [21].

Переваги технології електролітно-плазмового полірування:

- одночасна і рівномірна обробка всієї поверхонь вироби;
- велика продуктивність в порівнянні з ручною (одночасна обробка декількох виробів);
- суміщення операцій обробки (одночасна очищення поверхні від домішок і її полірування);
- екологічна чистота процесу;
- повна автоматизація процесу.

Електролітно-плазмова полірування знайшла своє масове застосування в технологічному процесі при виробництві:

- рушникосушителів (одна установка ЕПП потужністю 250 кВт дозволяє за зміну відполірувати близько 60-100 одиниць виробів),
- водоспадів і заставних в басейни (полірування одного водоспаду типу "Кобра" становить не більше 15-20 хвилин),
- стійок огорож та поручнів (установка ЕПП потужністю 250 кВт дозволяє за зміну відполірувати близько 100-120 стійок),

- захисно-декоративних труб на автомобілі і мотоцикли (найчастіше застосовується установка плазмового полірування потужністю 250 - 400 кВт, яка дозволяє за зміну відполірувати близько 100 різних одиниць),
- латунних змішувачів (установка електролітно-плазмового полірування потужність 15 кВт в кілька разів підвищує продуктивність в порівнянні з ручною обробкою),
- ємностей (протягом 20 хвилин установка ЕПП потужністю 400 або 500 кВт забезпечить товарний вигляд будь-якої ємності об'ємом до 400 літрів),
- деталей насосів (установка електро-плазмового полірування потужністю 250 кВт забезпечить якісний вид будь-якого насосного вузла),
- медичні вироби (установка плазмової полірування потужністю 250 - 500 кВт додасть дзеркальний вид будь-якого медичного виробу починаючи від голок, закінчуючи медичними штативами),
- фланців з нержавіючої сталі (установка ЕПП потужністю 100 кВт дозволить відполірувати близько 100 фланців за зміну)
- і багато іншого.

Приклад поверхонь складної геометричної форми після обробки на Рис. 1.6.



Рис. 1.6. Зразки складної геометричної форми після електролітно-плазмової обробки

Розділ 2. Проведення експериментів по поліпшенню поверхневих властивостей

2.1 Опис робочої установки

Дослідження процесу електролітно-плазмового полірування проводилися на установці, загальна схема якої представлена на рис. 2.1. Установка складається з: робочої камери об'ємом 0.6 м^3 (1); катоду (2), датчика температури електроліту (3); утримувача об'єктів (4); електроліту (5); джерела живлення (6); системи управління (7); пристрою занурення (8); системи збору і передачі даних (9). Катод площею 0.3 м^2 виготовлений з нержавіючої сталі AISI 304 і покриває всю внутрішню поверхню вертикальних стінок баку.

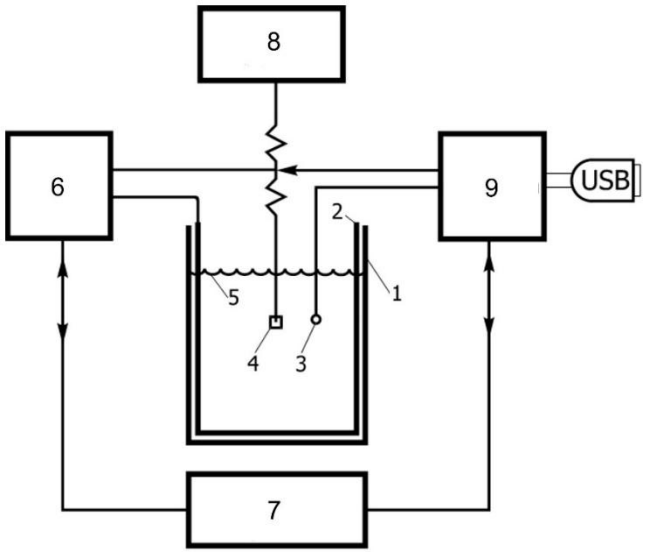


Рис. 2.1. Принципова схема установки електролітно-плазмового полірування.

Джерело живлення постійного струму трансформаторне трьох фазне було зібране за схемою Ларіонова з керованим мостом [22]. Вихідний опір джерела живлення 0.18 Ом. Джерело живлення забезпечує різницю

потенціалів в 280 В і максимальний струм 120 А. В джерелі передбачено блокування за струмом. Блокування відключає живлення при перевищенні струму навантаження більше ніж 100 А. Пристрій занурення забезпечує занурення об'єкту в електроліт на задану оператором глибину з постійною швидкістю 5 мм/с. Точність позиціонування не гірше за 1 мм. Система збору та обробки даних вимірює струм навантаження, напругу джерела живлення, температуру електроліту. Вимірювання проводяться зі швидкістю 20 вимірювань на секунду. Ця система також забезпечує обмін даними між установкою і керуючим комп'ютером. Відносна похибка вимірювань по струму і напрузі становить не більше 0.5%, по температурі - 1%. Система управління отримує дані з системи збору та обробки даних. Через систему збору та обробки даних система управління отримує керуючі команди з комп'ютера і забезпечує роботу всього пристрою відповідно до заданої програми.

2.2 Підготовка поверхні перед обробкою

Попередня обробка зразка перед зануренням в електроліт не потрібна, але ми вирішили провести аналіз шорсткості за допомогою наноіндентування. Для цього ми використовували багатофункціональний прилад, «Мікрон-гамма» (див. Рис.2.2), який призначений для дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів методами безперервного вдавлювання індентора, сканування, металографії і топографії.

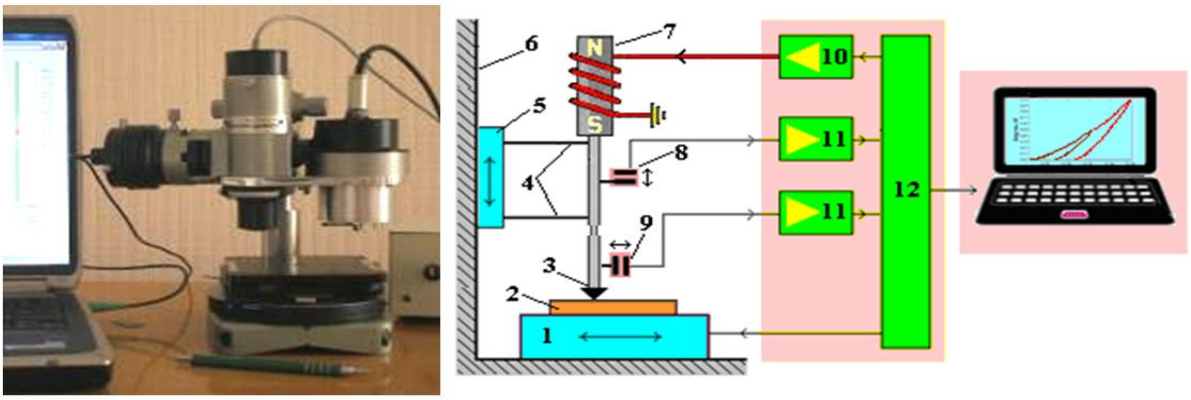


Рис. 2.2. Зовнішній вигляд та блок-схема «Мікрон-гамма»

Основні технічні характеристики:

- Максимальне навантаження, гр _____500
- Дискретність навантаження:
  - при діапазоні «150» гр._____ 0,001
  - при діапазоні «500» гр _____ 0,01
- Діапазон вимірюваних переміщень, мкм _____0,01 - 200
- Швидкість навантаження індентора, гр / с_____0,01 - 100
- Кількість реєстрованих значень:
  - в режимі мікровдавлення _____2000
  - в режимі сканування нема обмежень
- Діапазон переміщень столу, мм_____25х25
- Похибка позиціонування столу, мкм _____10
- Максимальне збільшення мікроскопу _____х400
- Можливість нанесення прицільного уколу.

Метод безперервного вдавлення індентора - цей метод заснований на автоматичній реєстрації в процесі випробувань навантаження (P) на индентор і глибини (h) його впровадження в поверхню випробуваного матеріалу у вигляді діаграми навантаження P = f (h). Розшифровка такої діаграми дозволяє отримувати не тільки більш широку, але також і принципово нову, в порівнянні зі стандартним методом випробувань на мікротвердість, інформацію. Метод дозволяє фіксувати цінну інформацію про сам процес вдавлювання індентора, враховуючи процеси, що відбуваються внаслідок релаксації напружень, формозміни матеріалу під індентором в процесі вдавлення, при витримці під навантаженням, при навантаженні і т.п.

Метод безперервного вдавлення дозволяє:

- проводити випробування на мікротвердість в діапазоні малих і над малих навантажень;
- вивчати особливості мікродеформації матеріалів з кінетики впровадження індентора;
- реєструвати мікроповзучість матеріалів;
- вимірювати градієнт властивостей по глибині впровадження;
- відчувати матеріали з поганою здатністю, що відображає (зокрема полімерні матеріали), а також матеріали, у яких відбиток сильно змінює розміри після зняття навантаження;
- вимірювати крихкість матеріалів по діаграмі впровадження;
- вимірювати пружність матеріалів.

Метод прогресивного сканування з реєстрацією нормальної або тангенціальною складових.

Метод прогресивного сканування базується на безперервної реєстрації опору руху індентора по поверхні при плавно наростаючою і спадної навантаженні на індентор. Реєстрація моментів крихкого руйнування і

сколювання поверхні (покриття), що супроводжуються стрибками тангенціальної сили і акустичної емісією (при додатковому п'єзоелектричному датчику), дозволяють реєструвати:

- момент крихкого руйнування поверхні;
- адгезійну міцність покриттів.

Індентор, с тангенціальним датчиком (датчиком сили "тертя") і пьезо датчиком акустичної емісії, дряпають поверхню з постійною швидкістю V. При цьому навантаження на індентор плавно і рівномірно наростає, до половини шляху, а потім плавно убуває. У момент досягнення критичного навантаження крихкого руйнування поверхні або сколювання покриття, відбувається різкий стрибок сили тертя, що супроводжується акустичним сигналом. Навантаження, що відповідає руйнуванню поверхні, може характеризувати адгезійну міцність покриття і "крихкість" поверхні.

Метод топографії заснований на скануванні поверхні індентором при мінімальному навантаженні на индентор (0,01 - 0,1 гр.) з подальшою обробкою профілограм і зокрема дозволяє будувати профіль поверхні [23].

2.3 Процеси які виконуються при електролітно-плазмовому поліруванні металів

В якості об'єктів дослідження використовувалися зразки розміром 75×25×2 мм, які були виготовлені з листової електротехнічної міді марки М 2. Такий розмір зразків був обраний з міркувань мінімізації крайових ефектів на стан поверхні при електролітно-плазмовій обробці. Поверхня об'єктів містила сліди природної патини та незначні механічні пошкодження, які утворилися під час транспортування і зберігання мідних листів. Розподіл ушкоджень, їх характер і присутність забруднень на поверхні були рівномірними, отже, попередній стан поверхні об'єктів перед електролітно-плазмовою обробкою

можна вважати ідентичним для усіх зразків. Перед зануренням в електроліт об'єкти не піддавалися попередній обробці. У всіх експериментах об'єкти занурювалися на глибину 25 мм. В якості електроліту в наших експериментах використовувався розчин сульфату амонію з додаванням сірчаної кислоти. Вміст сульфату амонію в розчині становив 4%, сірчаної кислоти 1%. Концентрація компонентів вказана в масових відсотках. Як показали попередні експерименти, метою яких було встановлення мінімальних можливих концентрацій компонентів, найбільш оптимальним з точки зору процесу електролітно-плазмового полірування виявився розчин сульфату амонію 4% та сірчаної кислоти 1%.

В процесі електролітно-плазмової обробки відбувається нагрів електроліту. У зв'язку з цим експерименти проводилися в кілька серій, в кожній серії використовували п'ять об'єктів. Початкова температура електроліту в кожній серії відповідала кімнатній, в нашому випадку це було 22^{o}C. Експеримент в кожній серії відбувався наступним чином: на тримач закріплювався перший об'єкт, глибина занурення 25 мм, час обробки 600 с та запускався процес, протягом всього процесу проводився безперервний запис струму навантаження, напруги на об'єкті і температури електроліту, по закінченню встановленого часу напруга вимикалося і об'єкт автоматично піднімався з електроліту, об'єкт замінювався на наступний і процес повторювався. Таким чином кожен наступний об'єкт в серії занурювався в електроліт при більш високій температурі. Це дозволило в процесі обробки провести дослідження залежності струму навантаження при різних початкових температурах електроліту. Характерні залежності зміни температури електроліту від часу для однієї серії з п'яти об'єктів представлені на рис. 2.3.

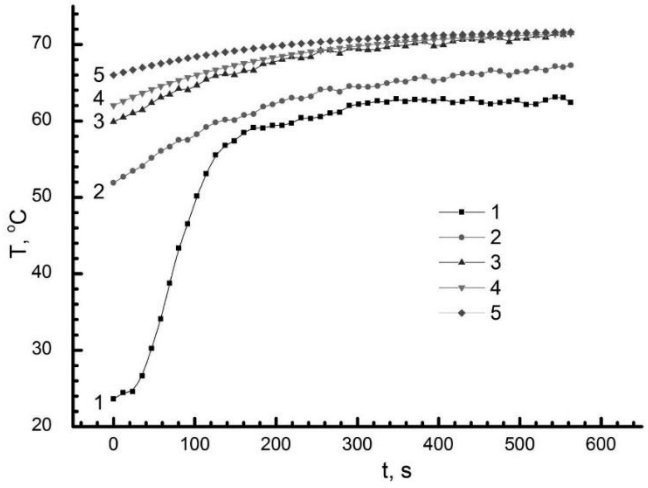


Рис. 2.3. Характерні залежності зміни температури електроліту від часу для однієї серії з п'яти об'єктів.

Як видно із залежності температура електроліту безперервно підвищується, прагнучі до деякого максимальне значення. Для всіх серій залежності температури електроліту вели себе ідентично, практично збігалися для кожного номера об'єкту. Максимальна температура електроліту для наших умов становила $(72 \pm 1)\ ^{o}C$. Напруга на зразку протягом усього часу обробки, завдяки конструкції джерела живлення, була однаковою і становила 280 В. Струм навантаження при цьому змінювався по складному закону, вид залежності струму навантаження від часу для першого зразка в серії представлений на рис. 2.4.

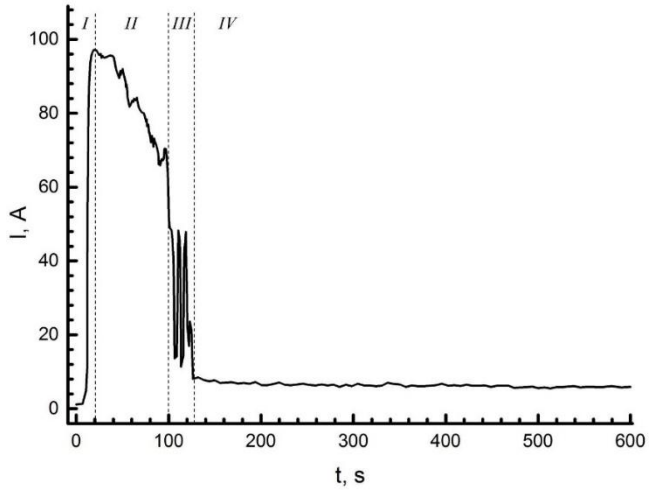


Рис. 2.4. Залежність струму навантаження від часу обробки для об'єкта, який занурюється в електроліт при початковій температурі T_s 22 ^oC.

На залежності струму від часу можна виділити кілька областей, на рис. 2.4 вони позначені римськими цифрами. Так область “I” відповідає зануренню об'єкте в електроліт. У “II” області відбувається прогрів об'єктета електроліту. При цьому спостерігається утворення газових бульбашок на поверхні зразку, що відповідає процесу електролізу. З підвищенням температури об'єкту і електроліту зменшується струм. У “III” області відбувається перехід від електрохімічної обробки до електролітно-плазмового процесу. В цей проміжок часу температури об'єкту та електроліту не забезпечують формування стабільної парогазової оболонки, це підтверджується сильними коливаннями струму навантаження. У “IV” області температура об'єкту підвищується до такого рівня, що формується стабільна парогазова оболонка. Протікання струму в ланцюзі забезпечується пробоєм парогазової оболонки з формуванням газового розряду постійного струму. Анодом газового розряду є об’єкт, що піддається обробці, а катодом поверхня рідини. Робочим тілом (газом) для розряду є парогазова оболонка, яка відокремлює електроліт від

поверхні об'єкту. З підвищенням початкової температури електроліту час існування “II” і “III” області скорочуються, при цьому максимальні струми для кожної області зменшуються (див. рис. 2.5).

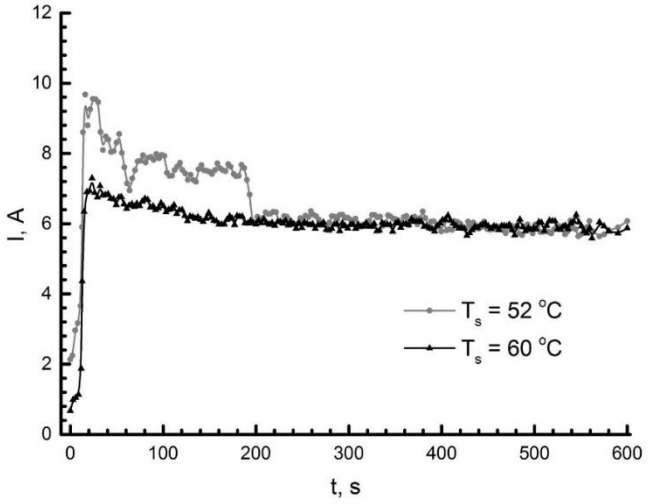


Рис. 2.5. Залежності струму навантаження від часу обробки для об'єктів, який занурюється в електроліт при початкових температурах T_s 52 та 60 °C.

На цьому малюнку представлені залежності струму навантаження від часу для випадків, коли об'єкт занурювався в електроліт, початкова температура якого T_s становила 52 та 60 °C відповідно. Це відповідає другому і третьому об'єкту в серії. Залежності для четвертого і п'ятого об'єктів не показані так як вони практично збігаються із залежністю для третього об'єкту і тільки захаращують малюнок. Простежується кореляція між струмом навантаження та температурою електроліту. Як показав кореляційний аналіз, починаючи з 55 °C кореляція між струмом навантаження і температурою електроліту є сильною і носить зворотній характер. Це справедливо для всіх експериментів. Залежності струму навантаження від температури електроліту наведені на Рис. 2.6. На цьому малюнку вказані значення для струму навантаження при

зануренні об'єктів в електроліт з початковими температурами 22, 52 і 60 ^{o}C, усереднене значення по усіх серіях та апроксимуюча крива. Як показали експерименти рельєф поверхні після обробки об'єктів протягом 600 с не відрізняється в незалежності від початкової температури електроліту.

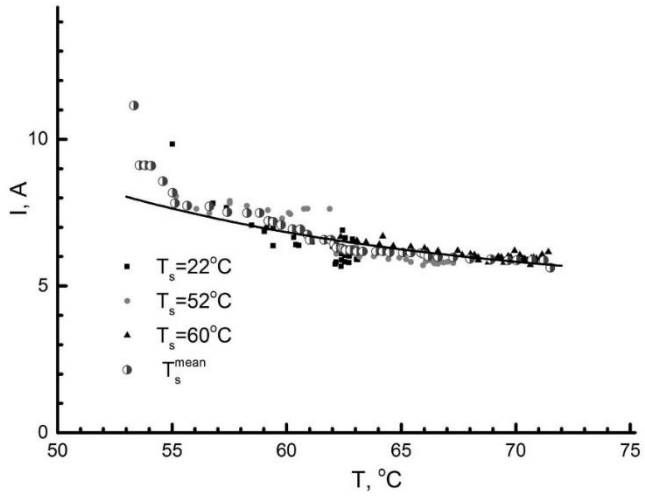


Рис. 2.6. Залежність струму навантаження від температури електроліту для випадків занурення об'єктів в електроліт з початковими температурами T_s 22, 52 та 60 ^{o}C, T_s^{mean} середнє значення і апроксимуюча крива.

Для визначення оптимальних умов полірування виробів з міді проводилась послідовна обробка об'єктів, починаючи з часу обробки в 30 с та збільшенням часу обробки на 30 с для кожного наступного зразку. Початкова температура розчину становила 60 ^{o}C. Фотографії ділянки поверхні представлені на Рис. 2.7.Після перших 30 с з обробки (див. Рис. 2.7. a)) поверхню виробу не відрізнялася від вихідної. При цьому процес обробки включав в себе дві області, позначені на Рис. 2.4 як “I” і “II”. Тобто області в яких відбувається прогрів об'єктів і тільки починає формуватися парогазова оболонка. Після обробки в 60 с (див. Рис. 2.7. b)), помітно притуплення гострих кромок і

сильних нерівностей на поверхні, патина залишається практично не ушкодженою. Третій об'єкт оброблявся 90 с, див. Рис. 2.7 c). Патина зникла повністю, та поверхня об'єкту придбала металевий блиск. За час обробки в залежності струму від часу присутні всі області, зазначені на Рис. 2.4. Обробка протягом 120 с призвела до видалення верхнього шару і прояву кордонів зерен матеріалу див. Рис. 2.7 d). Після обробки протягом 150 с спостерігали згладжування країв зерен і відновлення блиску виробів див. Рис. 2.7 e). Подальше збільшення часу обробки не призвело до істотного поліпшення якості поверхні див. Рис. 2.7 f). Таким чином можна зробити висновок, що полірування об'єктів відбувається за умов, які існують в області “IV”див. Рис. 2.4.

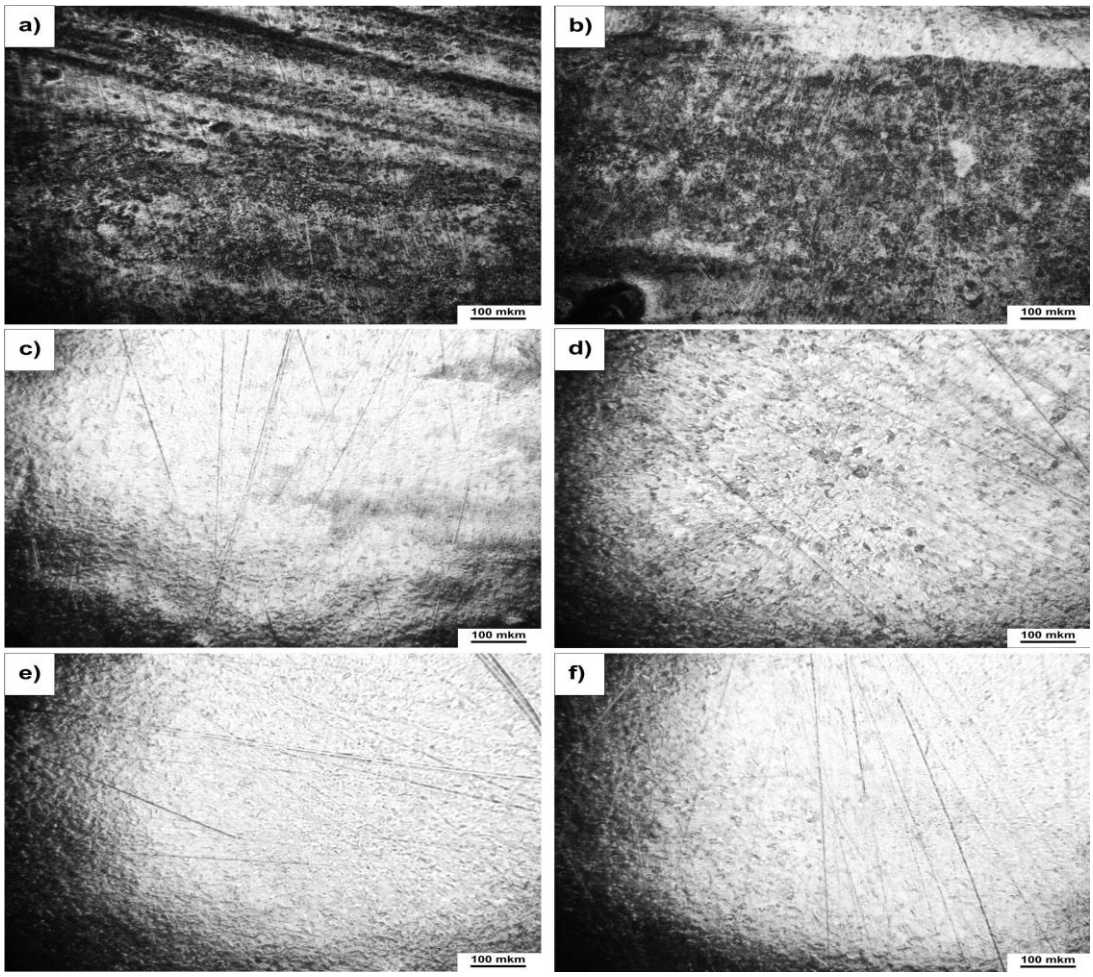


Рис. 2.7. Фотографії ділянок поверхні мідного об'єкта при послідовній обробці, тривалість кожної обробки 30 с, початкова температура електроліту T_s становила 60^o C.

Обробка протягом 120 с привела до видалення верхнього шару і прояву кордонів зерен матеріалу см Рис. 2.7 d). Обробка протягом 150 с привела до згладжування країв зерен і відновлення блиску зразка (див. Рис.2.7 e). Подальше збільшення часу обробки не привело до вагомих поліпшень якості поверхні (див. Рис.2.7 f). Таким чином, можна зробити висновок, що полірування об'єктів відбувалася за умов, які існують в області IV див. Рис.2.4

Висновки

За час виконання дипломної роботи був проведений аналітичний огляд літератури по методам обробки поверхні матеріалів: вивчено особливості методу електролітно-плазмової обробки поверхні; проведено ознайомлення з роботою установки електролітно-плазмового полірування; були підготовлені металеві зразки для обробки; було проведено обробку зразків поверхні та досліджені їх властивості.

Під час виконання роботи було проаналізовано переваги і недоліки кожного з існуючих способів обробки. Зроблено висновок що електролітно-плазмова полірування має ряд переваг таких як

- швидка обробка (до 10 хвилин)
- використання нетоксичних електролітів
- обробка поверхні складної геометричної форми
- не вимагає високої кваліфікації співробітників
- можливість автоматизації
- низькі витрати на матеріали

Дослідження результатів електролітно-плазмового полірування металевих зразків дозволяє зробити такі висновки:

– мідні вироби можуть бути відполіровані в електроліті такого складу: сульфат амонію 4%, сірчана кислота 1%;

– зменшення концентрації зазначених компонентів нижче 3% і 0.5% відповідно не є доцільним;

– процес полірування можливий тільки за умови формування суцільної стійкою парогазової оболонки навколо виробу;

– основними процесами при полірування є процеси, які протікають на поверхні виробу в плазмі газового розряду;

– час обробки від моменту переходу від процесів електролізу до стабільного газового розряду в парогазовій оболонці може становити 60-90 с, при цьому основні параметри шорсткості поверхні R_a і R_z зменшуються в середньому в 3-5 разів порівняно з початковими значеннями.

Спираючись на отримані результати, було проведено полірування мідних виробів, які є елементами ректифікаційної колони для виробництва ефірних масел. У виробів після обробки спостерігалося згладжування країв зерен і відновлення блиску зразка.

Список використаної літератури

1. О.В. Мигаль, О.В. Морозов, Р.И. Старовойтов, И.В. Буряк. Электролито-плазменная полировка меди, East European Journal of Physics.-2018.-5.3.-61-67с.
2. P. Gupta, G. Tenhundfeld, E. O. Daigle and D. Ryabkov, "Electrolytic plasma technology: Science and engineering—An overview," Surface & Coatings Technology, no. 201, pp. 8746-8760, 2007.
3. E. V. Parfenov, A. Yerokhin, R. R. Nevyantseva, M. V. Gorbatkov, C. -J. Liang and A. Matthews, Towards Smart Electrolytic Plasma Technologies: An Overview of Methodological Approaches to Process Modelling, Surface & Coatings, 2015.
4. Л. А. Ушомирская, А. С. Герасимов, "Технологические возможности применения струйного течения электролита при электролитно-плазменном полировании," Металлообработка, no. 4, pp. 25-30, 2015.
5. K. Nestler, F. Böttger-Hiller, W. Adamitzki, G. Glowa, H. Zeidler and A. Schubert, "Plasma Electrolytic Polishing – an Overview of Applied Technologies and Current Challenges to Extend the Polishable Material Range," Procedia CIRP, no. 42, p. 503 – 507, 2016.
6. Актуальні проблеми сучасної фізики: Наукова конференція студентів та аспірантів з прикладної фізики до 55-річчя Фізико-технічного факультету:Тези: - х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018.
7. А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов и С. Н. Степанов, Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт., П. р. к. т. н. Н. Табачниковой., Ред., Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2007, p. 136.
8. Л. Й. Івщенко, В. В. Петрикін, С. І. Дядя и Б. М. Левче, Взаємозамінність, стандартизація та метрологічне забезпечення

технічних вимірювань, Запоріжжя: Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ»,, 2010, p. 451.
9. М. И. Гарбер, Декоративное шлифование и полирование, 2-е, доп. и переработ. ред., Москва: Машиностроение, 1964, p. 192.
10. С. Я. Грилихер, Обезжиривание, травление и полирование металлов, 5-е, перераб. и доп ред., П. Вячеславова, Ред., Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1983, p. 101.
11. Под редакцией Л.Майссела, Р.Глэнга, Технология тонких пленок Справочник, т. 1, Москва: «Советское радио», 1977.
12. Старовойтов Р.И., Электролитно-плазменная полировка стали AISI XXX: дис. кандидата физ.-мат. наук: Харьков, 2018.
13. Лурье Г. Б. и Комиссаржевская В. Н. Шлифовальные станки и их наладка. Учебник для проф.-техн. учебных заведений М., «Высш. школа», 1972. 416 с
14. Муцянко В.И., Братчиков А.Я. Бесцентровое шлифование. Производственное издание. Издание 3-е, переработанное и дополненное. Под редакцией З.И. Кремня. (Ленинград: Издательство «Машиностроение», 1986. - Библиотечка шлифовщика. Выпуск 5)
15. Н.И. Богатырёв; В.Л. Лихачёв и др. Слесарное дело. Учебное пособие для студентов вузов. / М.И. Чеботарёв. — 2013. — С. 448. — 713 с.
16. З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. Технология шлифования в машиностроении. — Санкт-Петербург: Политехника, 2007. — 425 с.
17. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др. М.: Машиностроение, 1990.- 688с.
18. Electrolyte-plasma polishing. Механическа полировка. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://plasmacraft.ru/mehanicheskaya-polirovka (Дата обращения: 22.04.2020)

19. Electrolyte-plasma polishing. Химическая полировка. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://plasmacraft.ru/himicheskaya-polirovka (10.04.2020)
20. Electrolyte-plasma polishing. Электрохимическая полировка [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://plasmacraft.ru/elektrohimicheskaya-polirovka (Дата обращения: 22.04.2020)
21. Мехтехнолоджи. Разработка и производство специализированного оборудования: Установка электролитно-плазменного полирования [Електронный ресурс] – 2018. Режим доступа: http://mehtehn.ru/products/category/ustanovka-elektrolitno-plazmennoy-polirovki (Дата обращения : 17.04.2020)
22. Rashid M. H. Power electronics handbook, Elseviered., Ed., Oxford, UK: Elsevier, 2011. – 1409 p.
23. Национальная металлургическая академия Украины. Прибор для исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов «Micron-gamma» [Електронный ресурс] – Режим доступа: https://nmetau.edu.ua/ru/mdiv/i2025/p2527 (Дата обращения : 17.04.2020)