

Лубенська Л.М.

Колодяжний П.В.

Східноукраїнський
національний
університет імені
Володимира Даля

УДК 621.923

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ СТАЛЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Исследовано влияние частоты, амплитуды колебаний рабочей среды, состав и pH рабочего раствора на кинетику и съём металла и характер формирования микрорельефа поверхности углеродных сталей и стали 12X18H10T. Обнаружено, что наибольшая интенсивность обработки поверхности происходит за счет механического и химического действия в области активного растворения стали, которая зависит от состава рабочего раствора, его окислительно обновительной способности. В пассивной области формирование микрорельефа стали осуществляется лишь за счет режущей способности абразивного материала, амплитуды и частоты колебаний рабочей среды.

Influence of frequency, amplitudes of working environment, composition and pH of working solution, on kinetics and output of metal and character of forming of surface of carbon steel and 12X18H10T is investigated. It is discovered that most intensity of treatment of surface takes place due to a mechanical and chemical action in area of active dissolution of steel which depends on composition of working solution, its oxidation-regeneration ability. In passive area, forming of surface of steel is carried out only due to cutting ability of abrasive material, amplitude and frequency of vibrations of working environment.

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими задачами

Сучасна ринкова економіка вимагає виготовлення нових виробів з високими експлуатаційними властивостями і низькою собівартістю їх виготовлення. Підготовка виробів з вуглецевої сталі під гальванопокриття включає операції по знежиренню, хімічному трусненню, багаторазовій промивці. Виконувати операції дуже трудомісткі, вимагають витрат ручної праці і значної витрати хімічно активних кислот та електроенергії. Операції вібраційного шліфування забезпечують поєднання таких процесів, як знежирення, хімічне видалення оксидних плівок, хімічну активацію поверхні, промивку, – в одному технологічному процесі. Вібраційна обробка забезпечує зміну фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталі в результаті дії низькочастотних

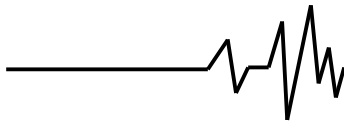
коливань робочого середовища з певною частотою і амплітудою. Динамічні процеси, що надають вирішальну дію на якість поверхні і продуктивність процесу обробки, недостатньо вивчені.

Наукова робота спрямована на вирішення **актуальної** проблеми ресурсозбереження у виробництві при розробці фінішної підготовки поверхні виробів зі сталі 20 і 45 для нанесення захисного покриття.

Постановка задачі

Метою роботи є інтенсифікація процесу підготовки поверхні для нанесення захисного покриття за рахунок поєднання технологічних операцій при використанні низькочастотних коливань робочого середовища та механохімічної його дії при досягненні технологічних та експлуатаційних вимог до оброблюваних виробів.

Для досягнення поставленої мети авторами роботи вирішені наступні задачі:



- досліджено вплив частоти, амплітуди коливань робочого середовища, склад та рН робочого розчину на кінетику та знімання металу і характер формування мікрорельєфу поверхні вуглецевих сталей та сталі 12X18H10T;

Аналіз літературних джерел.

Практичний інтерес фахівців до методу вібраційної механохімічної обробки пояснюється його широкими технологічними можливостями та техніко-економічними перевагами, тому постійно удосконалюється як теоретична база, відбувається подальше вивчення основних закономірностей процесу, так і експериментальна основа, удосконалюються відомі і створюються нові різновиди обробки.

У роботі [1] відмічено, що створення комбінованих методів ґрунтується на одночасному використанні різних видів енергії, які створюють відповідні фізико-хімічні ефекти. У комбінованих методах обробки процеси видалення оброблюваного металу здійснюються у результаті одночасної наявності двох або більше енергетичних дій, які протікають по фізико-хімічному механізму.

Підготовка поверхні, яка здійснюється у гальванічному виробництві у вигляді знежирювання та труєння, дозволяє видалити жирові забруднення, але не забезпечує покращення якості поверхні [2, 3].

Якість поверхні деталей в значній мірі визначається операціями остаточної обробки, що робить істотний вплив на формування мікрогеометрії і фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів [4, 5].

У роботах [6, 7] вивчено теоретичні основи цього процесу, визначені основні параметри вібраційної абразивної обробки, досліджені кінетичні характеристики процесу, знайдені значення швидкостей, прискорень, сил зіткнень робочого середовища і оброблюваних деталей, питомого тиску в зоні контакту.

Комплексні дослідження по впливу умов обробки на показники якості і найважливіші експлуатаційні властивості деталей машин вперше приведено у роботах [8-12]. В даний час склалися уявлення про характер впливу вібраційної абразивної обробки на поверхневий шар деталей, який знижує шорсткість і покращує мікрорельєф поверхні, змінює в якісному і кількісному відношенні рівень залишкової напруги. Це дозволяє використовувати процес для обробки поверхні, підвищення її корозійної стійкості.

Проте великі потенційні можливості даного способу використовуються ще не повною мірою. Це пов'язано з відсутністю

єдиного підходу при аналізі основних параметрів і призначенні режимів обробки на різних операціях. Розроблені в даний час численні статистичні моделі, що зв'язують параметри якості деталей з режимами вібраційної абразивної обробки, мають обмежене застосування унаслідок необхідності обліку і відтворення всієї сукупності умов, при яких вони отримані. Але і науково обґрунтований вибір таких режимів процесу, як амплітуда, частота, тривалість, повною мірою ще не вирішує завдань інтенсифікації і оптимізації обробки. Великі можливості закладені в комбінуванні різних схем процесу і використанні додаткових видів енергії - теплової, енергії хімічних реакцій. Подальших досліджень вимагають параметри якості вібраційних абразивних оброблених поверхонь, відповідальних за корозійну стійкість і міцність матеріалу, з метою поліпшення їх оптимальних значень для конкретних умов експлуатації деталей.

Важливою складовою частиною робочого середовища при вібраційній абразивній обробці в хімічно активних розчинах є робочий розчин. У вітчизняній промисловості для чорних металів найширше застосовуються 1,5-3% розчини кальцинованої соди, мильно-содові розчини з додаванням натрію нітрату і нітриту, а також з додаванням органічних речовин (триетаноламіну, уротропіну) [3, 14].

Матеріали та зразки. Для проведення експериментальних досліджень вибирали матеріали, які широко застосовуються при нанесенні гальванічних захисних покриттів. При цьому керувалися, по-перше, необхідністю поліпшення якості поверхневого шару під гальванопокриття і, по-друге, доцільністю застосування для цієї мети вібраційної абразивної обробки. Сталь 20 та 45 використовуються для виготовлення деталей замку і деталей типу кріплення. Для вивчення процесів, що протікають в поверхневому шарі легованої сталі при вібраційній абразивній обробці, вибрана корозійностійка сталь 12X18H10T.

Для вивчення електрохімічних властивостей поверхні металів проводили потенціостатичні дослідження на зразках з різних марок сталей товщиною 2,0 мм, прямокутної форми, розміром 10 x 10 мм. Дослідження проводилися на потенціостаті П-5848. Поляризацію електроду здійснювали із швидкістю 0,017 В/хв. Анодні криві знімалися із значень потенціалу, сталих протягом 30 хвилин.

Обґрунтування наукових результатів. Особливістю процесу вібраційної



механохімічної обробки є те, що унаслідок дії абразивних гранул з поверхні оброблюваних деталей безперервно видаляються мікрочастки металу, тобто поверхня при вібраційній обробці знаходиться в стані безперервної зачистки, що впливає на зміну потенціалу металу в досліджуваних умовах.

Залежність зміщення потенціалу зачищеної поверхні сталі 12Х18Н10Т і сталі 45 від вмісту мінеральних кислот в робочому розчині представлена на рис. 1 та рис. 2.

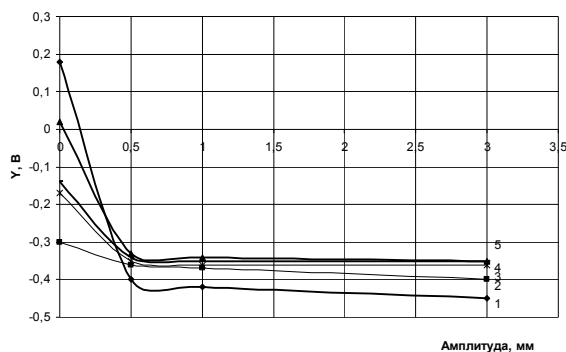


Рис. 1. Залежність потенціалу сталі 12Х18Н10Т від вмісту речовин в розчині: 1 – 0,5% розчин Na_2SO_4 ; 2 – 0,5н розчин HCl ; 3 – 0,5н розчин HNO_3 ; 4 – 0,5н розчин H_2SO_4 ; 5 – 0,5н розчин H_3PO_4

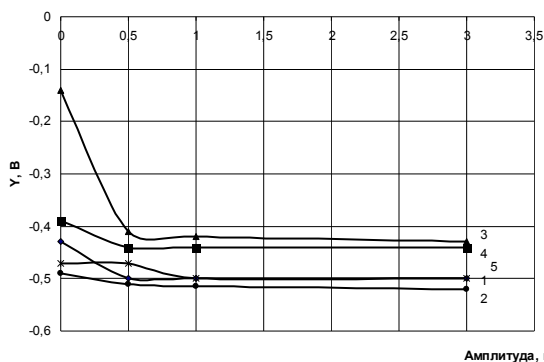


Рис. 2. Залежність потенціалу сталі 45 від вмісту речовин в розчині: 1 – 0,5% розчин Na_2SO_4 ; 2 – 0,5н розчин HCl ; 3 – 0,5н розчин HNO_3 ; 4 – 0,5н розчин H_2SO_4 ; 5 – 0,5н розчин H_3PO_4

Величина потенціалу зачищеного металу сталі 12Х18Н10Т та вуглецевої сталі 45 при вібраційній обробці залежить від динамічної дії системи метал- абразив - робоче середовище. Структура і хімічний склад сталі також впливають на величину зміщення потенціалу сталі у хімічно активних розчинах. Так максимальне зміщення потенціалу від 0,2 до 0,45 В відмічено у сталі 12Х18Н10Т у 0,5%

розчині Na_2SO_4 та у 0,5н розчині HNO_3 . Для сталі 45 характерне максимальне зміщення потенціалу з негативної області - області активного розчинення у 0,5н розчині HNO_3 . Ця відмінність у поведінці досліджуваних сталей пов'язана з тим, що розчинення сталі 12Х18Н10Т здійснюється за рахунок переходу з області пасивного стану в область активного розчинення, на відміну від сталі 45, розчинення якої відбувається відразу в області активного стану.

Зміна потенціалів сталей 12Х18Н10Т і 45 при обробці в розчинах нітратної кислоти з різною величиною рН у часі наведено на рис. 3 та рис. 5 відповідно.

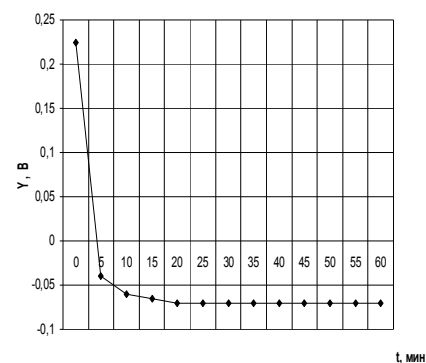


Рис. 3. Зміна потенціалів сталі 12Х18Н10Т у часі в статичних умовах при рН розчину нітратної кислоти 2,4

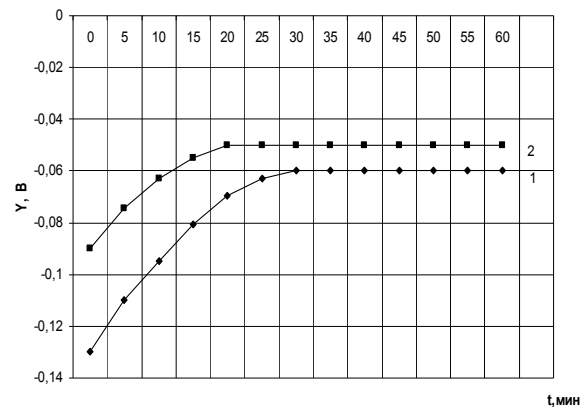
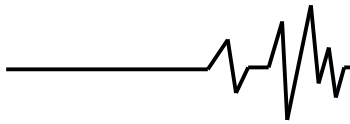


Рис.4. Зміна потенціалів сталі 12Х18Н10Т після припинення дії механічного чинника в часі: 1 – рН = 2; 2 – рН = 2,2

Як видно (рис.4, рис.6), після припинення механічної дії абразиву потенціали сталей 45 і 12Х18Н10Т облагороджуються і досягають значень потенціалу, який відображає динаміку рівноважного стану швидкостей утворення і розчинення поверхневої плівки, склад якої



залежить від рН розчину (рис.4 крива 1, 2 і рис. 6).

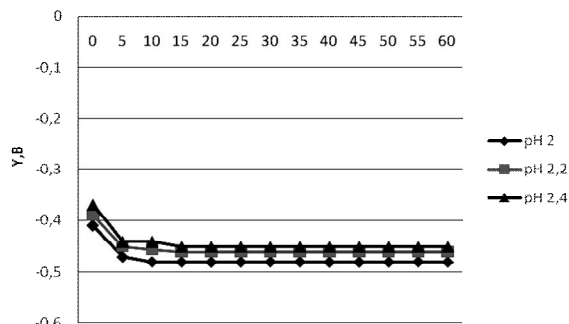


Рис. 5. Зміна потенціалу сталі 45 в часі від рН розчину нітратної кислоти

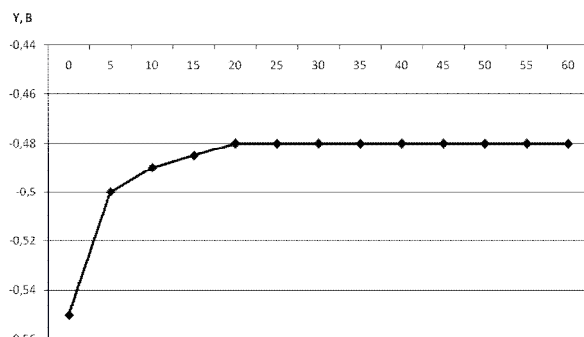


Рис. 6. Зміна потенціалів сталі 45 в часі після припинення дії механічного чинника (зміна рН від 1,6 до 2,4)

Таким чином, встановлено:

- поведінка сталей при вібраційній механохімічній обробці, в основному, визначається станом зачищеної поверхні металу, системи, що виникає в результаті динамічної взаємодії метал-абразив-рідина. Величина потенціалу зачищеної поверхні залежить від хімічного складу розчину, а також від його рН;

- активація поверхні сталі 12X18H10T від дії механічного чинника на частоті коливань 42 Гц і амплітуді 1,2 мм відбувається за рахунок зміщення потенціалу від 0,225 до -0,08 В. За рахунок хімічної дії нітратної кислоти при рН=2 відбувається подальше зміщення потенціалу сталі до значення

- 0,14 В;

- встановлено, що при обробці сталі 12X18H10T на частоті 42 Гц в середовищі 0,5% розчину Na_2SO_4 відбувається максимальний зміщення потенціалу від 0,2 до -0,48 В при амплітуді коливань резервуару 3 мм.

Якісна підготовка поверхні під гальванопокриття вимагає видалення поверхневого шару з множиною дефектів, тому

одним з показників інтенсивності вібраційної механохімічної обробки є питома знімання металу.

Знімання металу при вібраційній абразивній обробці відбувається в результаті мікроконтактів частинок робочого середовища і оброблюваних деталей, які періодично повторюються і накладаються один на одного. Відносно переміщення виробів у віброуючому середовищі забезпечує безперервну зміну їх орієнтації, завдання ударів у самих різних напрямках, що дозволяє здійснювати обробку поверхні будь-якої конфігурації.

Механізм зняття металу складається з наступних дій: мікрорізання металу зернами абразиву, внаслідок чого виникають мікроподряпини; мікроударів частинок робочого середовища, які приводять до утворення мікролунок. Процес вібраційної обробки складний, у ньому, окрім механічного руйнування, мають місце фізико-хімічні процеси.

Якість поверхні деталей залежить від мікрогеометрії і фізико-хімічних властивостей поверхні і поверхневих шарів. Для утворення рівномірного поверхневого шару металу необхідно створити на поверхні металу плівки з комплексних сполук, які б легко видалялися від механічної дії, але захищали поверхню металу від надмірного розчинення в поглибленнях. Проведені дослідження по впливу комплексних сполук ($\text{KF}\cdot\text{HF}$, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) на величину питомого знімання металу.

Найбільш активне розчинення сталі 12X18H10T здійснюється у розчині на основі нітратної (1,4%) і хлоридної кислот (0,6%) (2:1). Додавання у розчин подвійної солі $\text{KF}\cdot\text{HF}$ збільшує у 2 рази її розчинення (рис. 7).

Результати досліджень залежності питомого знімання металу в робочому розчині від вмісту добавки - $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ представлені на рис. 8. Збільшити питома знімання металу в 5 разів можна в робочому розчині на основі суміші кислот з добавкою $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ при збільшенні швидкості розчинення металу, а також за рахунок інтенсивнішої зачистки поверхні від збільшення частоти і амплітуди коливань резервуару (рис. 8).

Контроль якості поверхні після вібраційної абразивної обробки в робочому розчині з різним вмістом $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ та $\text{KF}\cdot\text{HF}$ здійснювався по такому показнику, як шорсткість. Результати визначення шорсткості представлені на рис. 9 і рис.10.

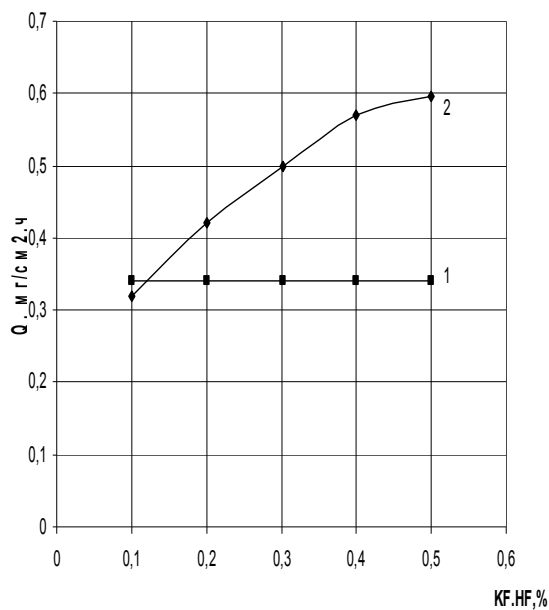


Рис.7. Залежність питомого знімання металу сталі 12X18H10T у розчинах електролітів, режим обробки: $A=1,2$ мм; $f=53$ Гц; 1 - HNO_3 (1,4%) + HCl (0,6%); 2 - HNO_3 (1,4%) + HCl (0,6%) + $\text{KF}\cdot\text{HF}$

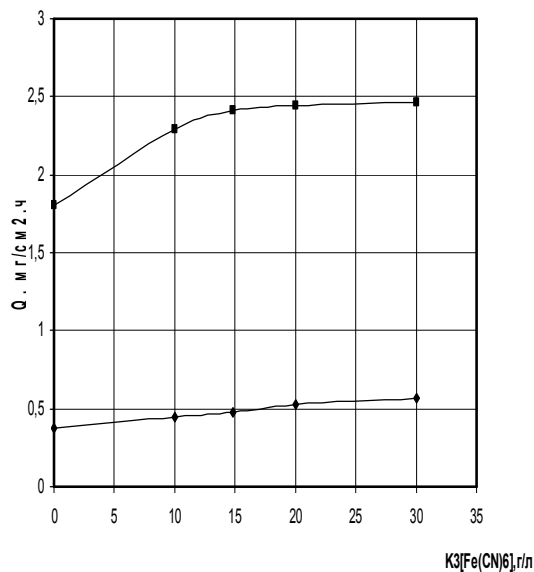


Рис. 8. Залежність питомого знімання металу сталі 12X18H10T у розчинах HNO_3 (1,4%) HCl (0,6%) з добавкою $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$: 1 – $A=1,2$ мм; $f=53$ Гц; 2 – $A=3,5$ мм; $f=60$ Гц

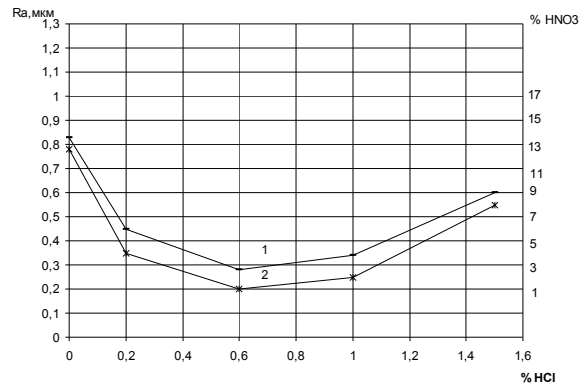


Рис. 9. Зміна мікрорельєфу поверхні сталі 12X18H10T залежно від зміни концентрацій мінеральних кислот: 1 – 0,5% $\text{KF}\cdot\text{HF}$; 2 – 3% $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

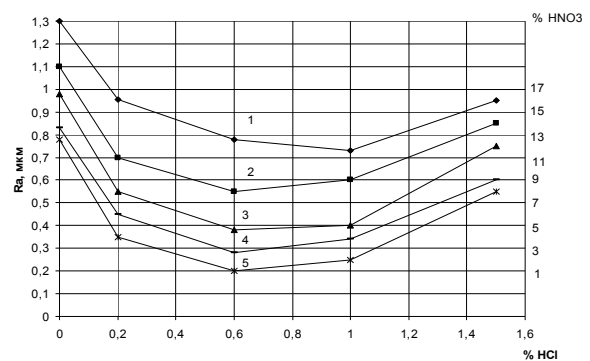
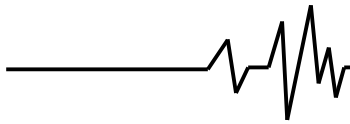


Рис. 10. Зміна мікрорельєфу поверхні сталі 12X18H10T залежно від зміни концентрацій мінеральних кислот 1, 2, 3 - без добавок; 4 – 1,5% $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$; 5 – 3% $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Формування мікрорельєфу поверхні сталі 12X18H10T у присутності добавок $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ характеризується утворенням більш рівномірної шорсткості за відсутності розтравлювання. Це доводить рівноважність швидкостей утворення та видалення плівки, представленої комплексною сполукою - гексациано-(III) фератом заліза (II).

На величину питомого знімання металу сталі 12X18H10T впливає вміст кислоти в робочому розчині. На рис. 11 приведені результати експериментальних досліджень по впливу рН середовища на питоме знімання металу і на зміну шорсткості поверхні сталі 12X18H10T (рис. 12).

Зниження швидкості розчинення сталі 12X18H10T при збільшенні концентрації галогенід іонів обумовлено як їх хемосорбцією на позитивно зарядженій поверхні стали, так і недостатньою швидкістю руху робочого



середовища при частоті коливань резервуару 42,3 Гц для їх видалення (рис. 13).

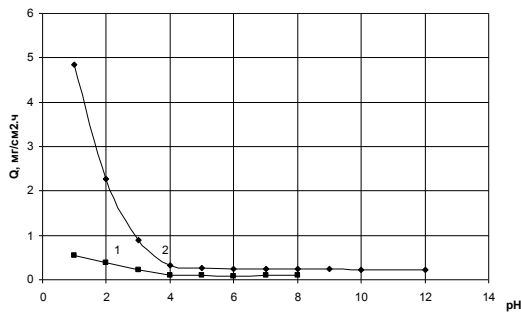


Рис. 11. Вплив рН середовища на величину питомого знімання сталі 12Х18Н10Т: 1 - статичні умови; 2 - динамічні умови, вібраційна абразивна обробка (A=3,5 мм, f=43 Гц)

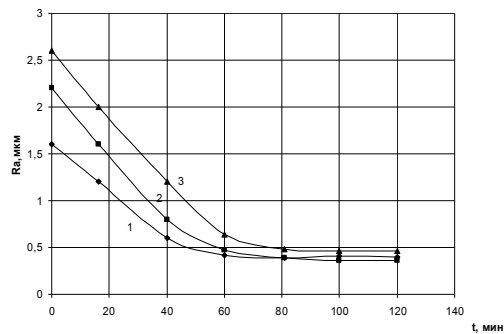


Рис. 12. Зміна шорсткості поверхні сталі 12Х18Н10Т залежно від рН розчину: 1 – рН=2; 2 – рН=2,2; 3 – рН=2,4

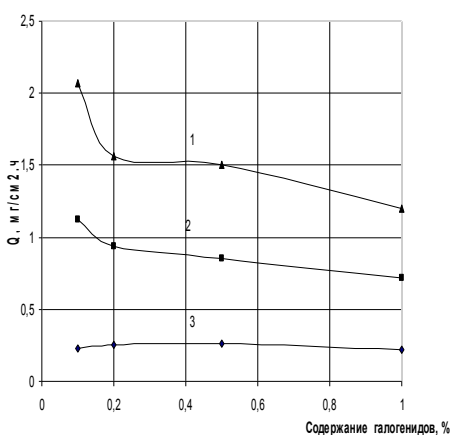


Рис. 13. Залежність питомого знімання металу сталі 12Х18Н10Т у 1% розчині нітратної кислоти у присутності галоген іонів (режим вібраційної обробки : A = 1,2 мм; f = 42,5 Гц): 1 – KCl, 2 – KBr, 3 – KI

При збільшенні швидкості оновлення поверхні при інтенсивнішому режимі вібраційної обробки A = 3,5 мм; f = 60 Гц максимальне знімання металу спостерігається в присутності фторид і хлорид аніонів, вплив бромід іонів виявляється практично неефективним, а присутність іодид іонів призводить до зниження питомого знімання металу, що добре видно з рис. 14.

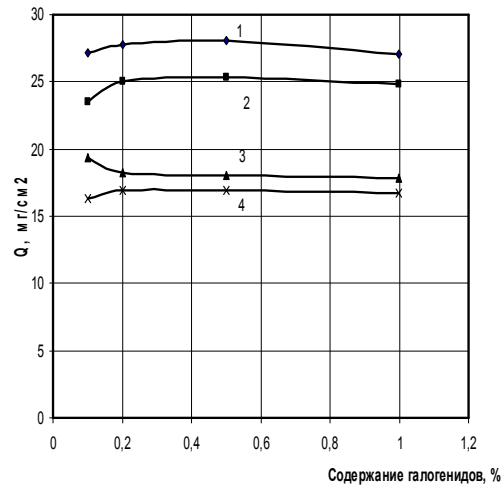


Рис. 14. Залежність питомого знімання металу сталі 12Х18Н10Т у 10% розчині нітратній кислоти в присутності галоген іонів при режимі вібраційної обробки: A = 3,5 мм; f = 60 Гц: 1 – KF, 2 – KCl, 3 – KBr, 4 – KI

Таким чином, встановлено:

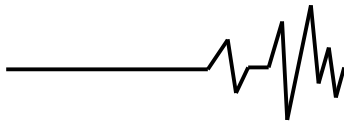
- збільшити в 2,5 рази питоме знімання металу можна за рахунок збільшення в 3 рази амплітуди і 1,2 рази частоти коливань резервуару;

- оптимальні результати по величині питомого знімання металу і шорсткості поверхні можна отримати при обробці сталі в робочому розчині, до складу якого входять окислювач (HNO₃), активатор (F⁻, Cl⁻) та комплексна сполука (K₃[Fe(CN)₆]);

- якість поверхні сталі X18H10T з (Ra=0,2 мкм) можна отримати при вібраційній обробці протягом 1 години в розчині, що містить 0,6% HCl і 1,2% HNO₃ і з добавкою 3% K₃[Fe(CN)₆].

Висновки:

1. Вивчення вібраційної і абразивної обробки сталей в хімічно активних середовищах дозволило виявити залежність характеру формованого мікрорельєфу поверхні сталей 45 та 12Х18Н10Т і питомого знімання металу від технологічних параметрів обробки, а



також від кількісного і якісного складу електролітів.

2. Активація процесу розчинення металу сталей при вібраційній і хімічній обробці здійснюється в певному інтервалі значень потенціалів. Встановлено, що в умовах динамічної дії системи метал-абразив-електроліт потенціали зачищених сталей при вібраційній абразивній обробці зміщуються від їх стаціонарних потенціалів в негативну область. Ступінь зміщення потенціалу визначається амплітудою і частотою вібрації робочого резервуару. Активування поверхні сталі від дії хімічного чинника залежить від природи оброблюваного матеріалу, рН робочого розчину, від кількісного і якісного складу робочого розчину.

3. В області значень потенціалів активного розчинення сталі відбувається формування рельєфу поверхні від сумісного впливу як механічного, так і хімічного чинників. Характер рельєфу поверхні сталі визначається наявністю у складі хімічно активних добавок - комплексних сполук та активаторів розчинення поверхневих плівок.

В області потенціалів пасивного стану сталі при зниженні швидкості розчинення металу, формування мікрорельєфу залежить в основному від дії механічного чинника.

4. Запропоновано поєднання процесів знежирення, видалення оксидних плівок, активації поверхні у одному процесі механохімічної обробки при дії низькочастотних коливань робочого середовища, яке дозволяє підвищити інтенсивність процесу обробки та поліпшити якість мікрорельєфу за рахунок дії як механічної обробки, так і активного хімічного розчинення поверхневого шару металу.

Література

1. Бердник П.С., Ярошенко Л.В. Состояние и перспективы развития обработки легкоповреждаемых деталей // Вибрации в технике и технологиях: тез. докл. – Винница, 1995. – С. 44-45.

2. Каушпедас З.П., Балчунайте Б.В. Подготовка поверхности перед нанесением гальванических покрытий: Материалы семинара. – М.: ДПДТП, 1980. – С. 67-70.

3. Малкин В.С., Петросов В.В., Гончаров В.С. Нловый способ подготовки поверхности

под покрытие // Машиностроитель. – 1991. – №12. – С.23.

4. Гутман Э.М. Исследования по физикохимии контактных взаимодействий. – Уфа: Башкнигоиздат, 1971. – 248 с.

5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 341 с.

6. Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Лебедев В.А., Анкудимов Ю.П., Рысева Т.Н., Чукарина И.М., Тихонов А.А. Физико-технологические основы методов обработки: Учеб. пособие / под ред. Бабичева. Ростов-на-Дону: издательский центр ДГТУ, 2003. – 430 с.

7. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 148 с.

8. Бабичев А.П., Устинов В.П., Ходош Б.Б. Вибрационная отделочно-упрочняющая обработка. – В кн.: Сб. докладов научно-технического семинара равномерно-чистовая и упрочняющая обработка поверхностным деформированием. – М., 1968. – С. 82-91.

9. Бабичев А.П. Упрочнение деталей машин вибрационным наклепом. – В кн.: Повышение прочности и долговечности деталей машин поверхностным пластическим деформированием. – М., 1970. – С.64-70.

10. Димов Ю.В. Исследование производительности, точности и качества поверхности при виброабразивной обработке легких сплавов в связи с действующими силами: Автореф. дис...канд.техн. наук: 05.02.08. – Иркутск, 1989.

11. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механохимические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 1972. – 292 с.

12. Лебедев В.А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования: Науч. изд. Ростов-на-Дону. Издательский центр ДГТУ, 2006. – 183 с.

13. Лебедев В.А., Сибирский В.В. Теоретическая модель деформирования поверхностного слоя деталей частицами рабочей среды при обработке динамическими методами ППД / Вопросы вибрационной технологии: Сб.ст. РИСХМ. – Ростов-на-Дону, 1991.

14. Перцев Н.В., Щукин Е.Д. Химико-физическое влияние среды на процессы деформации, разрушения и обработки твердых тел // Физика и химия обработки материалов. 1970. – №2. – С. 25-28.