

УДК 669.15.018.583

ЕЛЕКТРОЛІТНО-ПЛАЗМОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

А. С. Кириченко

*Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”*

Наведена електролітно-плазмова технологія для зміцнення локальних поверхонь металевих виробів.

Приведена электролитно-плазменная технология для укрепления локальных поверхностей металлических изделий.

Shows electrolytic-plasma technology to strengthen local surfaces of metal products.

Електролітно-плазмові технології здійснюються шляхом нагріву електричними дугами. Електричні дуги розвиваються в плазмовому шарі, який містить легуючі елементи. В якості рідкого електроду використовують розчин солей металів у воді. Охолодження здійснюють цим же електролітом. Ділянки поверхні нагрівають електричним струмом, який пропускають через електролітний електрод по плазмовому шару, який прилягає до поверхні виробу, й охолоджують цим же електролітом при пониженій щільності потужності енергії. Періодична зміна напруженості електричного струму змінює щільність потужності і відповідно температуру поверхні. Щільність потужності електричної енергії при нагріві складає $(1...3) \times 10^4$ Вт/см², а при охолодженні до 100 Вт/см². Періодичні нагрів поверхні виробу вище температури фазових перетворень і охолодження її нижче температури перетворень — режим термоциклічної обробки.

Особливістю електролітно-плазмових процесів або, як їх ще називають катодний нагрів, є те, що при обробці використовується енергія електричних мікророзрядів на поверхні, що оброблюється в електроліті. Ця технологія служить, в основному, для обробки сплавів на основі заліза: очистка поверхні від забруднень, відновлення окислів на поверхні, нагрів до загартування, хіміко-термічна обробка.

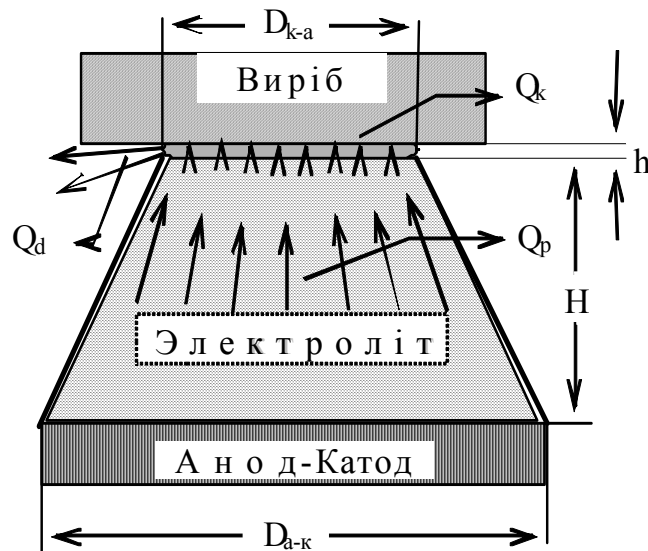


Рис.1 Схема гідродинамічної електролітної ячейки для нагріву поверхні виробу і формування шару плазми

Основними параметрами, які дозволяють управляти процесом електролітно-плазмової обробки й властивостями покриттів, є концентрація електроліту, напруга й щільність струму, температура, тривалість процесу, склад сплаву й його термічна обробка.

Для підвищення ефективності технології розроблений спеціальний електролітний нагрівач, рис. 1. Нагрівач має корпус із діелектричного матеріалу й металевий електрод з характерними розмірами $D_{к-а}$. В електроді виконані отвори, через які електроліт під тиском подається до поверхні виробу. Діаметру вихідного сопла нагрівача $d_{к-а}$. Геометричні співвідношення характерних розмірів нагрівача й тиск електроліту впливають на швидкість протікання електроліту в міжелектродному зазорі.

Відомо, що в об'ємі електроліту між електродами має місце перехресні ефекти. З одної сторони електричне поле утворює в текучому середовищі об'ємні «пондеромоторні» сили механічної природи. Ці сили в рівняннях гідродинаміки сумуються з силами інерційної, гравітаційної, баричної і в'язкісної природи. З другої сторони, в гідродинамічних струменях електроліту, які мають іони, здійснюються електричні токи конвекції. Повна щільність струму в електроліті є сума щільності трьох незалежних струмів. Це струм провідності або міграційний струм – іони рухаються відносно їх рідини під дією сил електростатичної природи, в незалежності від їх власної концентрації або від руху всієї рідини. Потім дифузійний струм – іони однакового сорту дифундують під дією осмотичного тиску відносно навколишньої рідини, у незалежності від напруженості електричного поля або руху рідини. І, на кінець, конвективний струм -

іони переміщуються текучим розчином, як якщо би вони були «вморожені» в нейтральну рідину у незалежності від напруженості поля або градієнту їх концентрації. Лінійна комбінація трьох щільності струмів в приблизковому повної дисоціації записуються для кожного сорту іонів співвідношенням Нернста-Планка,

$$J_i = u_i p_i E - e \phi u_i / z_i \text{ grad } p_i + v p_i, \quad (1)$$

де J_i - щільність струму, які обумовлені іонами тільки сорту i ;
 u_i - рухливість іонів номера $i = 1, 2, 3 \dots n$;
 $p_i = n_i z_i e$, - локальна щільність розподілу електричних зарядів;
 n_i - концентрація іонів;
 z_i - валентність іонів номера $i = 1, 2, 3 \dots n$;
 e - модуль заряду електрона;
 E - напруженість електричного поля;
 $\phi = kT/e$ - специфічний осмотичний потенціал, рівний для водних розчинів при кімнатній температурі 25,9 мВ;
 k - постійна Больцмана;
 T - температура електроліту;
 v - швидкість потоку електроліту.

В водному розчині солей утворюються прості й складні іони. Аніони, віддають надлишкові електрони при проходженні через отвори аноду, катіони захоплюються гідродинамічним струмом електроліту й рекомбінують на катоді - твердій поверхні виробу.

Іони між собою, з електродами і з стінками, які ізолювані, нагрівача взаємодіють достатньо складно, але при великому об'ємному заряді й високій швидкості протікання електроліту конвективний струм набагато більше дифузійного і міграційного струму, що дозволяє при розрахунку їх не враховувати. Експериментальні роботи показали, що тільки за рахунок гідродинамічної складової можна в 3...4 рази збільшити провідність електроліту й істотно понизити втрати на нагрів електроліту. При цьому перетворення електричної енергії йде, в основному, в шар на поверхні виробу, що модифікується.

Розподілу енергії в електролітному нагрівачі можна представити у вигляді (див. рис. 1),

$$Q_k = U_{ak} J_{ak} - Q_p - Q_d, \quad (1.16)$$

де:

- Q_k - енергія, яка йде на утворення електричних розрядів;
- Q_p - енергія, яка затрачується на нагрів й випарування електроліту;
- Q_d - енергія випромінювання;

J_{ak} - електричний струм, який проходить через електролітний нагрівач від металічного катоду до поверхні виробу;

U_{ak} - електрична напруга між анодом й катодом.

Так як потужність мікродуг невелика, то розсіювання енергії у вигляді випромінювання (Q_d) можна знехтувати. Нагрів електроліту є наслідок дифузійного і міграційного струму, а так як в нагрівачі ми реалізуємо переважно конвективний механізм провідності, то це пояснює низькі втрати на нагрів електроліту. Експерименти показують, що вони складають до 10 % від всієї витраченої енергії. Основні затрати енергії йдуть на утворення мікродуг й локальний нагрів поверхневого шару оксидів до плавлення.

Енергія до поверхні виробу через плазмовий шар передається у вигляді специфічної форми нерівновісних електричних розрядів. За класифікацією Райзера Ю.П., розряди можна віднести до розподіленим (плівковим) з низькою температурою газу. Розряди мають дифузійну прив'язку до поверхні електроліту «рідкого електроду». Під дією тиску, який змінюється, в місті прив'язки розряду, поверхня електроліту одержує коливальний рух.

В результаті, величина зазору між поверхнями рідкого електроду й твердого тіла періодично змінюється. Напруженість електричного поля в самому електроліті не висока (до 80...200 В/м), але в шарі, який прилягає до поверхні виробу (пограничний) напруженість має переїну величину й може досягати 10000...1000000 В/м. Напруженість залежить, перед усім, від напруги електричного струму й відстані між границями середовищ з різною провідністю. Падіння електричної напруги на величині шару електроліту між електродами складає не більше 25 В. В приграничному шарі падіння напруги досягає 300...1000 В.

В процесі електролізу на аноді виділяється кисень, який активується електричними розрядами й окислює метал виробу. У міру збільшення оксидного шару, для збереження електричного режиму оксидування, необхідно збільшити напруженість електричного поля до тих пір, поки не наступить стабілізація мікродугових розрядів. Процес оксидування має згасаючий характер і для його відновлення необхідно підвищення напруженості електричного поля до величини, яка забезпечує пробій оксидного шару й утворення дугових розрядів.

Література

1. *Tyurin Y.N., Pogrebnjak A.D.* Electric heating using a liquid electrode // Surface and Coatings Technology C.142-144, C. 293-299. (2001)
2. *Остроумов Г.А.* Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: «НАУКА». 1979. 310 с.