

## РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.01.6

**М.Г. Болотов**, канд. техн. наук

**М.М. Руденко**, старш. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ЗАСТОСУВАННЯ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ У ПРОЦЕСАХ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ (ОГЛЯД)

**М.Г. Болотов**, канд. техн. наук

**М.Н. Руденко**, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ В ПРОЦЕССАХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ (ОБЗОР)

**Maksym Bolotov**, PhD Technical Sciences

**Mykhailo Rudenko**, senior teacher

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### APPLICATION OF GLOW DISCHARGE WITH HOLLOW CATHODE IN PROCESSES OF SURFACE TREATMENT OF METALS (REVIEW)

*Розглянуто умови поверхневої хіміко-термічної обробки у плазмі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді. Показано основні режими азотування з метою зміцнення поверхонь конструкційної сталі 13Х11Н2В2МФ та технічного титану VT1-0. Наведено результати впливу неоднорідної плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, на структурні та міцнісні показники поверхонь, що обробляються.*

**Ключові слова:** тліючий розряд, порожнистий катод, азотування, неоднорідна плазма, макронеоднорідна структура.

*Рассмотрены условия поверхностной химико-термической обработки в плазме тлеющего разряда, горящего в полой катоде. Показаны основные режимы процесса азотирования с целью упрочнения поверхностей конструкционной стали 13Х11Н2В2МФ и технического титана VT1-0. Приведены результаты влияния неоднородной плазмы тлеющего разряда, горящего в полой катоде, на структурные и прочностные показатели обрабатываемых поверхностей.*

**Ключевые слова:** тлеющий разряд, полый катод, азотирование, неоднородная плазма, макронеоднородная структура.

*The conditions of the surface chemical and heat treatment in a plasma of glow discharge, burning in the hollow cathode. The basic modes of nitriding process with the aim of strengthening the structural steel surfaces 13H11N2V2MF and technical titanium VT1-0. The results of the influence of inhomogeneous plasma glow discharge, burning in the hollow cathode structural and strength properties of machined surfaces.*

**Key words:** glow discharge, hollow cathode, nitriding, plasma inhomogeneity, macroinhomogeneity structure.

**Постановка проблеми.** Працездатність деталей машин та механізмів значною мірою визначається станом робочої поверхні, а саме здатністю поверхонь у сполучених парах тертя протистояти зносу.

Нині для підвищення твердості, міцності та зносостійкості широкого застосування у промисловості набули методи термічної та хіміко-термічної обробки із застосуванням газорозрядної плазми (іонна обробка у тліючому розряді, обробка дуговим розрядом). Однак застосування того чи іншого способу не завжди дозволяє забезпечити необхідні властивості поверхневого шару, та й техніко-економічна доцільність їх використання викликає значні сумніви.

Застосування дугового розряду у процесах поверхневої обробки металів знайшло широке впровадження внаслідок певних технологічних особливостей, а саме низької напруги горіння дуги, високого значення розрядних струмів та широкого діапазону тисків, при яких він запалюється та стабільно горить. Однак наявність у плазмі, що генерується дуговим розрядом, значної кількості мікрокрапель матеріалу, що розпилюється розжареним катодом, дещо обмежує використання його у процесах модифікування поверхонь.

Останнім часом все більший розвиток та застосування отримують методи іонної обробки у тліючому розряді, які дозволяють регулювати технологічні параметри процесу у широкому інтервалі режимів, володіють досить високою швидкістю насичення, мають високий клас чистоти поверхні та велику економічність процесу за рахунок значного скорочення часу обробки тощо. Однак процес протікає при досить високих тисках 10...1000 Па і тому внаслідок значного теплового впливу на деталі, що обробляються, може спостерігатися зміна мікроструктури, значний ріст зерна і, як наслідок, зменшення міцності основи зразків, що в багатьох випадках неприпустимо.

Водночас є доцільним використання як джерела нагріву для поверхневої обробки металів тліючого розряду, що генерується в порожнистому катоді. Це дозволяє значно підвищити енергетичну ефективність процесу, знизити робочий тиск, понизити напругу запалювання та стабільного горіння розряду, скоротити загальний час процесу нагріву та охолодження деталей, що обробляються, знизити витрати робочого газу тощо.

**Мета роботи.** Метою роботи є систематизувати інформацію стосовно застосування неоднорідної плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді в умовах хіміко-термічної обробки матеріалів з метою поверхневого їх зміцнення.

**Виклад основного матеріалу.** Вперше можливість нагрівання тліючим розрядом з порожнистим катодом була показана англійським ученим В. Круксом ще у 1879 році. Він виявив, що від катода тліючого розряду поширюються частки (електрони), що володіють великою енергією. Він також показав, що їх можна концентрувати, використовуючи для цього не плоский, а порожнистий катод. У місці фокусування виділяється велика кількість тепла. Схема експериментального приладу Крукса показана на рис. 1.

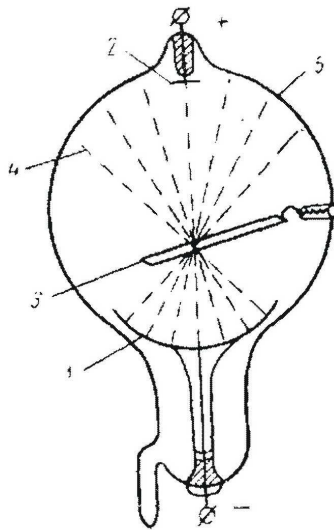


Рис. 1. Схема експериментального приладу Крукса: 1 – катод; 2 – анод; 3 – пластина платини; 4 – траєкторія руху електронів; 5 – скляна колба

На основі експериментального приладу Крукса в 60-х роках минулого століття у Харуельській лабораторії термоядерних проблем (Велика Британія) було створено пристрій для теплової обробки металів на основі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді. Схема пристрою наведена на рис. 2. В обох приладах тепловий ефект досягається при гальмуванні на зразку, що обробляється, швидких електронів, розігнаних у зоні темного катодного простору, що прилягає до напівсферичних сегментів катода [1]. Концентровані фокусувальною системою пучки електронів, які несуть у собі велику енергію, гальмуючись на поверхні будь-якого твердого тіла ефективно передають йому свою енергію у вигляді тепла. Цей процес лежить в основі застосування електронно-променевого гармат для різного роду термічної обробки матеріалів.

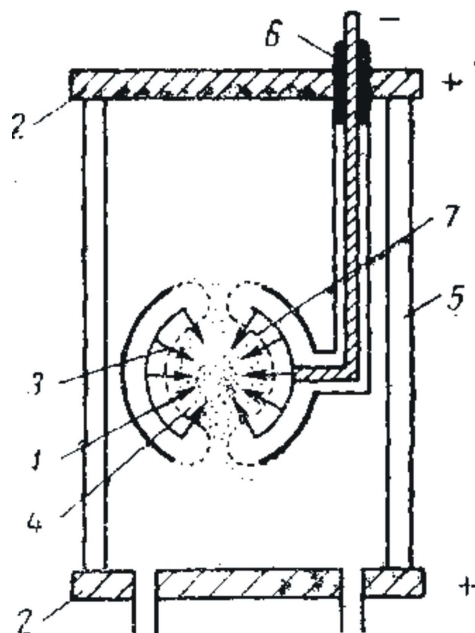


Рис. 2. Схема пристрою для термічної обробки матеріалів у тліючому розряді з порожнистим катодом: 1 – катод; 2 – анод; 3 – траєкторія руху електронів; 4 – плазма; 5 – скляний циліндр; 6 – ізолятор; 7 – границя негативного тліючого світіння

На сьогодні тліючий розряд з порожнистим катодом досить широко застосовується у процесах поверхневої обробки.

Відомі роботи [2; 3] по іонному азотуванню високолегованих конструкційних сталей у неоднорідній плазмі тліючого розряду із порожнистим катодом. У роботах показано, що при азотуванні в неоднорідній плазмі тліючого розряду конструкційної сталі 13X11H2B2MФ при тиску  $P=300$  Па,  $I=600$  мА,  $U=650$  В, у суміші газів азоту, аргону та ацетилену ( $N_2$  50 % + Ar 25 % +  $C_2H_2$  25 %) протягом часу  $t=4$  години температура поверхонь, що обробляється, не перевищує  $550$  °С. Зразки, що азотуються, також попередньо піддавалися іонному очищенню при тисках  $P=50$  Па,  $I=0,2$  А,  $U=650$  В, у процесі катодного розпилення поверхні температура не перевищувала  $T=250$  °С. Час очистки становив 15 хвилин.

У результаті, крім загального зміцнення поверхні сталі (вихідна мікротвердість сталі становила  $H_v=4730$  МПа, після азотування величина мікротвердості зросла до  $H_v=11500$  МПа), відбувається також зонне зміцнення, на поверхні формується характерний макрорельєф з вираженою границею розділу.

У роботі [4] наведені результати азотування технічного титану ВТ1-0 у несамостійному тліючому розряді із порожнистим катодом у суміші робочих газів ( $N_2$ -Ar,  $N_2$ -He,  $N_2$ -Ne). Експериментальна схема наведена на рис. 3.

Експериментально показано, що процес азотування технічного титану у плазмі несамостійного тліючого розряду з порожнистим катодом здійснюється з високою ефективністю при відносно низьких температурах (до  $600$  °С) та низьких тисках (2-4 Па), що приблизно в 3–4 рази менше в порівнянні з азотуванням у тліючому розряді з одним плоским катодом. Встановлено, що величина мікротвердості зразків зростає з підвищенням щільності катодного струму, напруги горіння розряду та температури зразків. Так, підвищення температури азотування на  $300$  °С призвело до підвищення показників мікротвердості більш ніж у двічі. Параметри режиму обробки та результати наведені в табл.

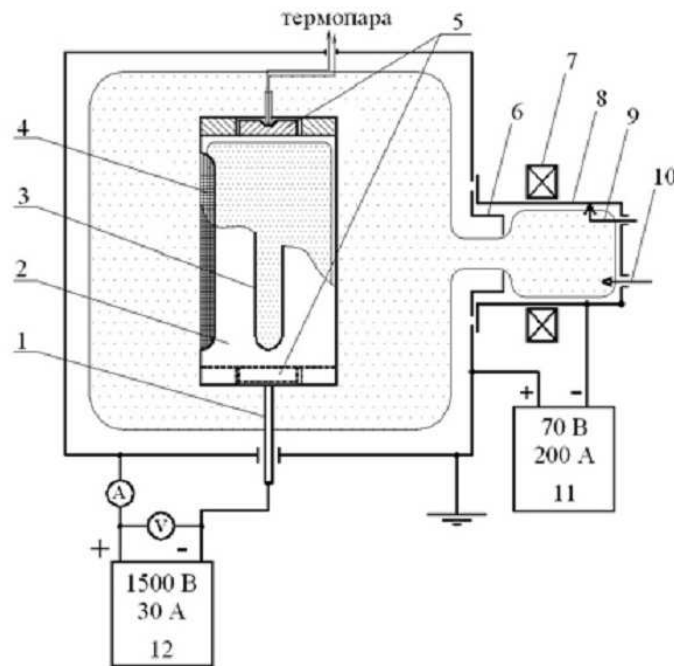


Рис. 3. Експериментальна схема азотування технічного титану VT1-0 у плазмі несамостійного тліючого розряду з порожнистим катодом: 1 – тримач; 2 – порожнистий катод; 3 – вікно; 4 – вікно з дрібно структурною сіткою; 5 – зразки, що обробляються; 6 – дугогасник; 7 – магнітна котушка; 8 – порожнистий катод; 9 – підпалюючий пристрій; 10 – ввід газу; 11 – джерело живлення дугового розряду; 12 – джерело живлення тліючого розряду

Таблиця

Значення параметрів азотування та величини мікротвердості поверхонь зразків

$P_{\text{смеси}}, \text{ Па}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$U_p, \text{ кВ}$	$j, \text{ мА/см}^2$	$HV_{0,5}, \text{ ГПа}$	$HV/HV_0$
3,9	850	1,4	4,0	14,0	4,7
2,8	650	1,4	3,9	8,2	2,7
2,1	550	1,0	1,9	6,4	2,1

### Висновки

1. Показана принципова можливість застосування тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, у процесах поверхневої обробки металів.
2. Встановлено, що іонне азотування у плазмі тліючого розряду з порожнистим катодом дозволяє здійснювати структурно-фазове модифікування сталей та їх сплавів.
3. Встановлено, що в результаті обробки, крім загального зміцнення поверхні сталі (вихідна мікротвердість сталі становила  $H_v=4730 \text{ МПа}$ , після азотування величина мікротвердості зросла до  $H_v=11500 \text{ МПа}$ ), відбувається також зонне зміцнення, на поверхні формується характерний макрорельєф з вираженою границею розділу.
4. Встановлено, що величина мікротвердості зразків зростає з підвищенням щільності катодного струму, напруги горіння розряду та температури зразків.

### Список використаних джерел

1. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Б. И. Москалев. – М. : Энергия, 1969. – 183 с.
2. Рамазанов К. Н. Ионное азотирование в неоднородной плазме тлеющего разряда / К. Н. Рамазанов, Д. З. Ишмухаметов, Н. С. Садаков // Вестник УГАТУ. – 2011. – № 3. – С. 67–71.
3. Шехтман С .Р. Использование разряда с полым катодом для обработки поверхности конструкционных материалов / С. Р. Шехтман, В. В. Будилов, Р. М. Киреев // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 2. – С. 31–35.
4. Азотирование технически чистого титана в тлеющем разряде с полым катодом / Ю. Х. Ахмадеев, Ю. Ф. Иванов, И. М. Гончаренко, Н. Н. Коваль // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31, вып. 13. – С. 24–30.