

УДК 669.15.018.583

**ОБРОБКА ПОВЕРХНІ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАЗМОВИХ
ГЕНЕРАТОРІВ¹***В. Є. Голубєв**Національний технічний університету України
«Київський політехнічний інститут»**Представлено методи обробки сталі з використанням плазмових генераторів.**Приведены методы обработки стали с использованием плазменных генераторов.**Methods, parameters and equipment of plasma surface treatment of steel semi finishes are represented. It is shown that the application of impulse plasma treatment results in high quality of the surface of steel parts.***Вступ**

Плазмове поверхнєве зміцнення як один з методів зміцнення джерелами нагрівання з високою щільністю потужності зараз знаходить широке й ефективне застосування як в умовах дрібносерійного й одиничного, так і масового виробництва. По розмаїтості й ефективності впливу на сталеві поверхні деталей плазмові методи поступаються лазерним, але мають більше ефективне використання електричної енергії й здійснюються на надійному й більше простому обладнанні. У цей час для поверхневого зміцнення широко використовують плазмові генератори безперервної дії [1, 2, 3-8]. Розроблено методи плазмової хіміко-термічної обробки [9].

Як і у всіх технологіях, застосування концентрованих джерел нагріву, процес плазмового зміцнення, в основному, контролюється величиною вкладеної у виріб енергії, часом впливу й залежить від теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу. Величина енергії й час впливу, у свою чергу, регулюються ентальпією плазмового струменя, швидкістю сканування (при безперервному витіканні плазми) або тривалістю імпульсу (при імпульсному режимі роботи). У роботі [10] розглядається загартування Ст. 45 постійною електричною дугою прямої

¹ - роботу виконано під керівництвом д.т.н., с.н.с. Ю. М. Тюріна і к.т.н. О. В. Колесніченка, Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України

дії, що сканується магнітним полем як уздовж, так і поперек руху плазмотрона щодо оброблюваного виробу. Наведено значення глибини, ширини й мікротвердості зміцненого шару залежно від технологічних параметрів процесу (струм електричної дуги, швидкість обробки, амплітуда сканування дуги).

Відома велика кількість конструкцій плазмотронів безперервної дії, призначених для поверхневого зміцнення. Можливість використання різноманітних плазмоутворюючих середовищ обмежується процесом ерозії електродів плазмотронів, хоча в цей час розроблені плазмотрони, що працюють на повітрі й в інших агресивних середовищах при використанні захисного обдування або термохімічних електродів на основі Zr і Hf. Оксиди, нітриди, карбіди цих металів мають найбільшу термічну стійкість.

За принципом роботи плазмотрони можуть бути прямої й непрямої дії. По типі споживаного струму розділяються на плазмотрони постійний і змінний токи. Крім того, плазмотрони відрізняються методом стабілізації дуги, схемою уведення плазмоутворюючого й захисного газів, способом підпалу й т.д.

Плазмотрони безперервної дії інтенсивно впроваджуються у виробництво через відносну простоту встаткування, мобільності, можливості автоматизації процесу, економічності. ККД деяких плазмових генераторів досягає 80 %. Однак, для плазмових струменів дугових генераторів безперервної дії, що працюють при атмосферному тиску, характерні дозвукові швидкості потоку (~1 км/сек) при середньомассовій температурі до 5000–10000 °K и ентальпії гальмування на зрізі сопла до 1–10 ккал/м. При таких значеннях ентальпії плазмового потоку вдається створювати на поверхні оброблюваного матеріалу щільності теплового потоку до 10^6 Вт/м² [11].

Відзначені значення ентальпії плазмового струменя й щільності потоку на оброблюваній поверхні, проте, не є граничними. Вони можуть бути значно збільшені при переході до більш високих швидкостей (до 20 км/сек) і температур (до 30000 K) плазмових струменів високої щільності. Такі струмені вдається одержувати на основі імпульсних плазмових прискорювачів, що працюють при атмосферному тиску. Особливою перспективністю володіють надзвукові плазмові імпульсні струмені, ентальпії яких може більш ніж на два порядки перевищувати ентальпію струменів традиційних дугових плазмотронів.

Надзвукові плазмові струменя при атмосферному тиску одержують, як правило, на основі прискорювачів, що використовують для нагрівання й прискорення плазми потужні імпульсні електричні розряди [12, 13].

Звичайно використовують прискорювачі коаксіального типу. Форма розрядного обсягу має вигляд циліндра або конуса. Електричний ланцюг

включає батарею конденсаторів, систему підпалу й джерело живлення. Загальна ємність конденсаторів варіюється, звичайно, від 50 до 5000 мкф, напруга на конденсаторах - від 200 до 5000 В. При цьому, енергія розряду варіюється від 50 до 10000 Дж, а швидкість струменя досягає 20 км/сек. [11, 13].

Під час розряду в робочому обсязі відбувається сильне зростання тиску через омичне нагрівання плазми, що викликає її витікання із сопла. При цьому, частка продуктів випару матеріалу обмежуючих стінок і електродів у плазмі може досягати 30-40 % і вона змінюється залежно від режиму розряду, типу матеріалу й форми електродів.

При надкритичних перепадах тиску, структура одержуваного плазмового струменя має всі основні властивості, характерні для надзвукових витікань газів в умовах недорозширення [14, 15]. У струмені утворюються хвилі розрідження й стиску, що супроводжуються ударними хвилями. За певних умов (більша тривалість витікання й відносно малий перепад тиску) ці хвилі багаторазово повторюються в міру видалення струменя від сопла. При великому перепаді тисків спостерігається витікання з ударною хвилею.

Характер взаємодії плазмового струменя з перешкодою залежить від швидкості струменя, форми й розмірів перешкоди, а також місця розміщення останньої. Якщо перешкода встановлюється в області до першого прямого стрибка ущільнення (область надзвукового плинину), то перед нею утвориться ударно стисла область плазми, що різко відрізняється по своїх світлових і фізичних характеристиках від іншої області плинину. Товщина ударної області залежить від швидкості струменя, а для заданої швидкості максимальна при впливі струменя на плоску перешкоду [16]. Ударно стисла плазма перебуває під більшим тиском (до 200 атм) [11]. Від ударно-стислої області відбувається теплопередача в тіло, що при високій ентальпії потоку, що набігає, може привести до його руйнування. При цьому основними механізмами теплопередачі в плазмі є конвективний і радіаційний потоки тепла [11].

Постановка задачі дослідження

Метою даної роботи є порівняння різних способів обробки сталі з використанням плазмових генераторів, та дослідження імпульсних плазмових джерел енергії для термічної обробки.

Методика проведення експериментів

Відомі методи обробки виробів імпульсною плазмою у відносно низькому вакуумі $\sim 10^{-1} \dots 10^{-2}$ Па. [17–19], де формування плазмового потоку здійснюється при розрядці накопичувача енергії між електродами

плазмового інжектора коаксіального типу. Плазмоутворюючий газ подається безпосередньо в розрядний проміжок за допомогою імпульсного клапана. Величина накопиченої енергії, що, у ємнісному накопичувачі при цьому становить $12,5 \times 10^3$ Дж. Зміна струму в розряді носить періодичний характер з періодом 180 мкс. Амплітудне значення розрядного струму досягає $1,8 \times 10^5$ А. Щільність потоку енергії становить 7×10^3 Дж/див².

У ряді досліджень останнього років показана можливість здійснення термохімічної обробки металів імпульсними гетерогенними плазмовими пучками, сформованими при електричному вибуху провідників [20]. Для таких пучків характерна наявність швидкого високоентальпійного пароплазмового фронту й відносно повільного тилу, що включає частки конденсованої фази продуктів вибуху. При їхньому впливі на поверхню відбувається оплавлення й легування шару металу товщиною до декількох десятків мікронів. Джерелом легуючої добавки є сам пучок - як його пароплазмова складова, так і конденсовані частки тилу.

Обробці піддавали пластини технічно чистого заліза марки 008ЖР. Матеріалом провідника, що підриває, служила вуглеграфітова тканина. Особливості формування гетерогенних плазмових пучків і їхньої взаємодії з поверхнею описані в роботі [21]. Енергія ємнісного накопичувача, що запасає, 5,5 – 24 Кдж. Ємність конденсаторної батареї $C=5000$ мкф. Час імпульсу становить 10^{-4} с, діаметр каналу сопла плазмотрона й відстань його від поверхні – 20 мм. Обробка проводиться у форвакуумі. При цьому, потік тепла у виріб варіюється від $1,4 \cdot 10^5$ до $5,5 \cdot 10^5$ Вт/см².

В роботі [22] пропонується спосіб обробки виробів імпульсною дугою прямої дії. Основні характеристики розрядного ланцюга варіюються в межах: ємність конденсаторної батареї - 48...96 мкф; напруга на обкладках - 100...250 В; опір розрядного контуру - 0,112...0,652 Ом; індуктивність у ланцюзі розряду - 0,03...1,17 Гн. При цьому параметри дугової імпульсної обробки наступні: максимальна амплітуда струму дуги-220...1700А; тривалість імпульсу струму - 17...260 мс; тривалість переднього фронту імпульсу - 0,12...18 мс; енергія, яка виділяється в імпульсі - 3...140 Дж. Термічна обробка дуговим розрядом конденсаторів поверхні сталевих деталей дозволяє одержати локальні ділянки глибиною до 1 мм. Максимальна твердість, яку було досягнуто на сталі ст.65М, становить 1100 HV.

Результати досліджень і їх обговорення

Високий ККД використання електричної енергії, відносна простота й невисока вартість устаткування, невеликі габаритні розміри, простота в обслуговуванні й роботі, висока продуктивність - все це вказує на доцільність використання плазмових технологій модифікування поверхні.

Однак існує цілий ряд недоліків такої технології:

- Наявність механічних навантажень на оброблюваний матеріал не дозволяє обробляти тендітні конструкції;
- Оброблювана поверхня повинна мати відносно просту форму;
- Складність оперативного контролю характеристик зміцненого шару деталей і інструментів;

На відміну від лазерної технології при плазмовій обробці здійснюється менш гнучке регулювання параметрами впливу на поверхню.

Висновки

На підставі одержаних результатів можна зробити такі висновки:

1. На відміну від стаціонарних плазмотронів імпульсні плазмові джерела енергії для термічної обробки матеріалів у наш час, в основному, представлені одиничними лабораторними установками. Широке їхнє впровадження в промисловості стримується, головним чином, низьким ресурсом роботи конструкційних вузлів, складністю систем генерування й прискорення плазми.
2. Дослідження в цій області перспективні, якщо взяти до уваги якість одержуваних модифікованих поверхневих шарів при здійсненні імпульсної обробки. Ефект, одержуваний від імпульсного плазмового зміцнення, у багатьох випадках зіставимо з результатами лазерного впливу. Це послужило передумовами для створення технології плазменно-детонаційної обробки (ПДО) поверхні [23-28].

Література

1. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский, С.С. Самоутугин, И.И. Пирч, В.И. Комар.– К.: Техника, 1990.– 109 с.
2. Восстановительная наплавка и упрочнение роликов рольгангов / В.А. Коротков, Л.Б. Баскаков, И.А. Толстов, А.А. Бердников // Сварочное производство.– 1991.– №3.– С. 31–33.
3. Линник В.А., Онегина А.К., Андреев А.И. и др. Поверхностное упрочнение сталей методом плазменной закалки // Металловедение и термическая обработка металлов.– 1983.– №3.– С. 2–5.
4. Плазменное термоупрочнение сталей / Лыков А.М., Почапаев В.Г., Редькин Ю.Г., Кумппов Е.С. // Физика и химия обработки материалов.– 1997.– №3.– С. 27–32.
5. Самоутугин С.С., Нестеров О.Ю. Технологические особенности плазменной обработки металлообрабатывающего инструмента // Тезисы VIII региональной научно-технической конференции.– Мариуполь.– 2001.– С. 156.
6. Оптимизация режимов плазменной обработки инструмента / С.С. Самоутугин, О.Ю. Нестеров, А.Г. Ярмицкий, В.П. Иванов // Сварочное производство.– 1998.– №7.– С. 12–15.

7. Самотугин С.С., Нестеров О.Ю., Кирицева Т.А. Механические свойства инструментальных сталей после плазменной поверхностной обработки // Физика и химия обработки материалов.– 2002.– №1.– С. 65–71.
8. Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г. Поверхностное упрочнение сталей при микродуговом нагреве металла.– Минск: Машиностроение, 1985.– 145 с.
9. Соснин Н.А., Тополянский П.А., Ермаков С.А. Многократное повышение стойкости инструмента, штампов и прессформ методом финишного плазменного упрочнения. // Материалы 3-й всероссийской практической конференции-выставки “Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций.”, 27-28 марта 2001 года.– СПб, 2001.– С. 27–32.
10. Коротков В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности // Физика и химия обработки материалов.– 1995.– №2.– С. 101–106.
11. Кисилевский Л.И., Морозов В.А., Снопко В.Н. Свойства и применение импульсных высокоэнтальпийных сверхзвуковых плазменных струй // „Физика и применение плазменных ускорителей”: Сб. под ред. А.И. Морозова.– Минск: Наука и техника, 1974.– 400 с.
12. Ускорение микрочастиц в электротермическом ускорителе с мультиразрядной схемой разрядного узла / Э.Я. Школьников, М.Ю.Гузев, С.П. Масленников, А.В. Чеботарев // Приборы и техника эксперимента.– 2000.– №6.– С. 130–135.
13. Минько Л.Я. Получение и исследование импульсных плазменных потоков.– Минск: Наука и техника, 1970.– 181с.
14. Гречихин Л.И., Минько Л.Я. О структуре плазменной струи импульсного разряда // ЖТФ.– 1962.–Т.32, №9.– С. 1072–1073.
15. Гречихин Л.И., Минько Л.Я. Изучение структуры сверхзвуковой плазменной струи и механизма ее образования // ПМТФ, № 6, 47, 1965.
16. Султанов М.А. Ударносжатая плазма в мощных импульсных разрядах.– Душанбе: изд. “Дониш”, 1981.– 280 с.
17. Особенности упрочнения стали У8 с помощью импульсно-плазменной обработки / М.Н. Волошин, Д.А. Гасин, И.Р.Кораблева, Н.Н. Складенко // Физика и химия обработки материалов.– 1994.– №1.– С. 16–20.
18. Волошин М.Н., Гасин Д.А., Кораблева И.Р. и др. Изучение структуры армо-железа при импульсной азотно-плазменной обработке // Физика и химия обработки материалов.– 1993.– №1.– С. 67–70.
19. Gasin D.A., Voloshin M.N., Ishchenko E.S., Korableva I.R. Surface Heat Treatment with impuls Plasma Flows.// Proceeding of the International Conference “Surface Engineering”, March 9–11, 1993, Germany.– Bremen, 1993.
20. Будовских Е.А., Назарова Н.Н., Носарев П.С. Фазовый состав и микроструктура поверхностных слоев железа, науглероженных импульсным воздействием гетерогенных плазменных пучков // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.–1994.– №12.– С. 29–33.
21. Симаков В.П., Будовских Е.А., Носарев П.С. Обработка титановых сплавов импульсной гетерогенной плазмой с оплавлением и легированием поверхностного слоя алюминием и никелем // Физика и химия обработки материалов.– 1991.– №5.– С. 60–66.

22. Лебедев В.К., Калеко Д.М. Импульсная дуговая термическая обработка поверхности металлов // Металловедение и термическая обработка металлов.– 1998.– №6.– С. 8–12.
23. Борисов Ю.С., Тюрин Ю.Н. Упрочняющая обработка деталей высокоэнергетической плазмой: Препр. / ИЭС; 92-1, Киев.: 1992.– 36 с.
24. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Тюрин Ю.Н. Плазменно-детонационные процессы формирования потоков энергии и их взаимодействие с металлической поверхностью. Сб. “Физика и техника плазмы”, т. 2, Минск, 1994, с. 284–287.
25. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Тюрин Ю.Н. Теория и практика плазменно-детонационного модифицирования поверхности деталей машин и инструмента // Сварочное производство.– 1994.– №5.– С. 23–25.
26. Тюрин Ю.Н. Основы технологии поверхностного упрочнения изделий плазмой электрического разряда: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.03.06.– Киев, 1997.– 485 с.
27. Tyurin Y.N., Pogrebnyak A.D. Advances in the development of detonation technologies and equipment for coating deposition.// Surface and Coatings Technology.– 1999.– №111.– P.269–275.
28. Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Циганков Н.Г. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента // Автоматическая сварка.– 2001.– №1.– С. 38–44