

УДК 621.793.74

В. І. Савуляк, д-р техн. наук, проф.;**О. В. Шаповалова**, асп.

ПЛАЗМОВЕ ГАРТУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Розглянуто процес плазмової термообробки поверхонь сталевих деталей, а саме: процеси термообробки, зміну фізико-хімічних та механічних властивостей досліджуваних матеріалів. Показано, що плазмове зміцнення може ефективно використовуватися для деталей, що експлуатувались в об'ємно-загартваному стані.

Вступ

Підвищення експлуатаційної надійності і довговічності машин ставить задачу створення нових технологічних процесів і матеріалів, які б забезпечували підвищення терміну їх служби, а також високу продуктивність праці зі значним економічним ефектом. Щорічно зростають затрати на виготовлення запасних деталей до різноманітних машин. Тому забезпечення підприємств запасними деталями підвищеного ресурсу за рахунок зміцнення і відновлення деталей, що швидко зношуються, є актуальною задачею, вирішення якої дозволить не тільки зекономити матеріальні, трудові та природні ресурси, а й допоможе уникнути простою машин та різноманітної техніки.

В деяких деталях поверхня, що сприймає високі питомі тиски та піддається абразивному зношуванню, повинна мати високу твердість, а серцевина деталі або більш віддалені шари повинні залишатися в'язкими та пластичними. Тому створення на поверхні спеціальних шарів із заданими властивостями є актуальним.

Метою роботи є виявлення можливості використання плазмової поверхневої або локальної термічної обробки деталей транспортної та сільськогосподарської техніки зі сталі 45 та розробка методики виконання експериментальних досліджень для задач створення масиву даних для інженерної методики проектування технологічних процесів зміцнення та підвищення зносостійкості деталей з конструкційних сталей.

Основний матеріал

Перші висловлювання щодо можливості застосування плазмового струменя для поверхневої термічної обробки були зроблені в кінці 50-х — початку 60-х р.р. минулого століття Кулагіним І. Д., Рикалініним М. М. [10, 11]. Проте промислове застосування плазмового гартування в СНД і за кордоном (США, Великобританія, Франція, Японія) почалося лише в кінці 70-х — початку 80-х років.

На сьогодні найуспішніше проблемами плазмової поверхневої обробки займаються Інститут електрозарювання ім. Є. О. Патона; наукове підприємство «Плазмацентр», Санкт-Петербург; Санкт-Петербурзький державний політехнічний університет; Інститут сильнотривової електроніки Сибірського відділення РАН, Росія, та інші. Вітчизняний досвід досліджень і промислового використання плазмового зміцнення узагальнені в монографіях Лещинського Л. К. [9], Борисова Ю. С. [1] та інших.

Зроблені успіхи у вивченні процесів зміцнення інструменту потоками імпульсної плазми [5, 17]. Досить широко представлені роботи щодо конструкцій та роботи плазмотронів [6, 7, 8]. Відомі також дослідження плазмово-детонаційної обробки високовуглецевих сталей таких як, наприклад У8 [2—4]. Слід зазначити, що для успішної експлуатації деталей зі зміцненим поверхневим шаром потрібно не тільки знизити інтенсивність зношування поверхні тертя, але й зберегти, а можливо, і підвищити міцність всього виробу [8]. Наукове підприємство «Плазмацентр» займається проблемою фінішного плазмового зміцнення інструментальних сталей та має у цьому напрямку значні здобутки [12—16].

Аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених з проблем підвищення зносостійкості відновлених деталей із конструкційних сталей шляхом їх термічної обробки дав можливість зробити такі висновки:

1. Використання традиційних методів термічної обробки відновлених сталевих деталей транспортної техніки, сільськогосподарських машин тощо, для роботи в умовах інтенсивного абразивного зношування та значних динамічних і ударних навантажень, утруднене через виникнення значних похибок геометричної форми та розмірів, а також небажані структурні зміни глибоких шарів матеріалу, що призводить до втрати його пластичності та ударної міцності.

2. Технологічні процеси термічної обробки відновлених сталевих деталей транспортної техніки, сільськогосподарських машин тощо, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, значних динамічних і ударних навантажень на сьогодні розроблені недостатньо. Відсутні конкретні рекомендації з вибору режимів термічної обробки, параметрів плазмотронів, виду плазмотворювального газу тощо.

Наші дослідження та аналіз відомих вказує, що результати плазмової обробки поверхонь є функцією багатьох факторів: параметрів і складу плазми, стану навколишнього середовища, стану поверхні, що обробляється, складу та структурного стану матеріалу заготовки тощо. Це значно ускладнює математичний опис процесу та його моделювання. Для розв'язання інженерних задач доцільно скористатися регресійними моделями, які отримані на основі обробки результатів фізичних досліджень.

Методика та апаратура для експериментальних досліджень

Залежність результатів плазмової обробки від значної кількості факторів вимагає такої постановки досліджень, яка б дозволила хоча б частково розділити вплив окремих факторів. Для цього бажано стабілізувати якомога більше факторів, а змінювати тільки найбільш значущі. Крім того прийнято рішення дослідження вести з використанням багатфакторного планування експериментів.

Для дослідження вибрано матеріал із сталі 45, оскільки значна кількість деталей транспортних машин та сільгосптехніки виготовлена саме з неї. В якості зразків використовувались деталі циліндричної форми, які відрізались з одного прутка діаметром 30 мм. Це дозволило нам забезпечити в межах кожної дослідної партії однаковий хімічний склад, структурний стан, теплоємність та теплопровідність матеріалу заготовок. Різна швидкість охолодження заготовок за рахунок тепловідведення в матеріал моделювалась за рахунок їх установаження на мідних холодильниках. Перед початком експериментів заготовка з холодильником піддається термостабілізації.

Як джерело плазми для досліджень використовується плазмотрон «Плазар» АП022, який являє собою універсальний мобільний апарат для термічної обробки негорючих матеріалів (рис. 1).



Рис. 1. Апарат «Плазар» АП022

Сутність досліджуваного процесу полягає в швидкому концентрованому нагріванні робочої поверхні деталі плазмовим струменем з тепловідведенням в матеріал деталі та вивченні мікротвердості, фазових і структурних перетворень, що відбуваються при цьому. При цьому ефекти плазмової обробки досягаються як тепловою, так і механічною дією плазми (бомбардуванням виробу частками плазми, що рухаються з дуже високою швидкістю — так званий швидкісний напір плазмового потоку). Питома потужність, передана поверхні матеріалу плазмовим струменем становить 103—104 Вт/см². У той же час тепловий потік, якщо це необхідно, може бути розосереджений, забезпечуючи «м'яке» рівномірне нагрівання поверхні. При високошвидкісних методах нагрівання

критична швидкість охолодження поверхневих шарів забезпечується шляхом теплового відводу з цих шарів в глибші шари деталі і в навколишнє середовище. Зі збільшенням швидкості нагрівання зменшується розмір зерен після термообробки тому, що зерна металу після гартування успадковують розміри зерен аустеніту, які не встигли вирости до значних величин. Висока швидкість нагрівання і охолодження поверхнього шару металу сприяють формуванню дисперсної кристалічної структури, високої щільності дислокацій. При цьому відкривається можливість здійснювати локальне нагрівання та зміцнення без значного термічного впливу на інші шари.

Термічну обробку дослідних заготовок з використанням плазмотрона «Плазар» АП022 здійснювали зі струмом $I = 6$ А, напругою $U = 157\text{—}160$ В; діаметр сопла 0,1 мм, з термохімічним гафнієвим катодом. В якості плазмоутворювального газу для плазмотрона використовувались пари розчину етилового спирту у воді. Для утворення плазми використовується дуга непрямої дії з прямою полярністю. Максимальна температура факела на відстані 2 мм від зрізу сопла сягала $4000\text{—}6000$ °С. Загальна споживна потужність плазмотрона 1800 Вт.

Оцінка зміни характеристик твердості структурних складових металу зразків після плазмової обробки проводилася за допомогою вимірювання твердості за методом Роквелла. Отримані дані показують, що обробка сталі 45 плазмовим струменем забезпечує істотне зростання твердості поверхнього шару металу, яка становить після обробки 60 одиниць за шкалою С.

Для визначення глибини зміцненого шару використовували плоскошліфувальний верстат, за допомогою якого з поверхні зміцнених зразків почергово знімався шар товщиною 0,1 мм з подальшим вимірюванням мікротвердості приладом ПМТ-3. Дослідження виявили, що глибина загартованої зони складає 0,9—1,1 мм з мікротвердістю на поверхні 8500 МПа, яка зменшується по глибині до 1800 МПа.

Встановлено, що порівняння поверхні зразка до і після плазмової обробки показує зменшення шорсткості. Після плазмової обробки поверхня стає більш однорідною, зменшується висота мікронерівностей, видаляються з поверхні дефекти, які викликані шкідливими домішками. Обробка приводить до зникнення рисок, присутніх на поверхні зразків в початковому стані (рис. 2).

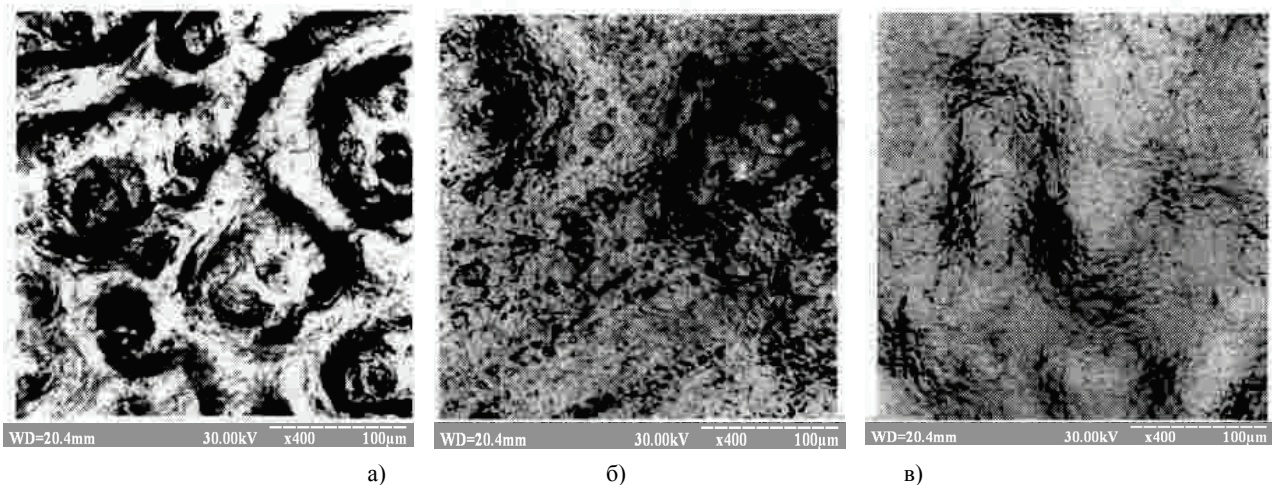


Рис. 2. Типові структури поверхневих шарів зразків зі сталі 45 після обробки потоком плазми:
а — 1 прохід; б — 5 проходів; в — 10 проходів

Крім того, термічну дію концентрованими джерелами енергії можна сумістити з процесами легування поверхні елементами, що введені в плазму. Таким чином, результати випробувань свідчать, що плазмове зміцнення може ефективно використовуватися для деталей, що традиційно експлуатувались в об'ємно-загартованому стані. При цьому досягається одночасне підвищення як твердості робочої поверхні, так і тріщиностійкості, що практично нездійсненно при застосуванні традиційних методів об'ємного і поверхнього зміцнення. Також доведено, що під час плазмової обробки не спостерігається зміна геометричної форми досліджуваних зразків.

Результати досліджень застосовуються для зміцнення поверхонь деталей транспортної техніки, зокрема деталей тролейбуса таких як цапфа поворотна (рис. 3).



Рис. 3. Цапфа поворотна тролейбуса

Цапфа поворотна є однією з важливих деталей заднього ведучого моста тролейбуса і служить для передачі крутного моменту на колесо. В процесі відновлення наплавляються та механічно обробляються поверхні під підшипники, різьба та шліцьова поверхня.

Поверхневе плазмове гартування цих поверхонь дозволяє підвищити їх стійкість проти зношування та цим самим продовжити термін їх служби.

Висновки

1. Встановлено, що твердість поверхні деталі зі сталі 45 після термообробки плазмою збільшується у 2—3 рази без втрати розмірів та параметрів шорсткості поверхні, а мікротвердість підвищується у 4,7 рази.

2. Доведено, що плазмове зміцнення може ефективно використовуватися для деталей, що експлуатувались в об'ємно-загартованому стані.

3. Не дивлячись на техніко-економічні переваги у порівнянні з іншими методами поверхневого зміцнення, плазмova обробка поки що не отримала широкого практичного застосування. Однією з причин цього є відсутність результатів різносторонніх фундаментальних досліджень властивостей зміцнених матеріалів, комплексних технологічних процесів об'ємного і поверхневого зміцнення.

4. Використання методу обробки поверхонь сталевих деталей особливо перспективне для використання в ремонтному виробництві, оскільки окремі поверхні деталей можна піддавати локальній термообробці практично без внесення похибок у розміри: лінійні, кутові та відносного розташування.

5. Плазмova обробка має низку проблем, над вирішенням яких необхідно працювати при вдосконаленні цього методу. До них відносяться складність зміцнення важкодоступних місць на виробках складної форми, що пояснюється необхідністю забезпечення малого (близько 5...10 мм) зазору між соплом плазмотрона і виробом; відсутність серійного спеціалізованого устаткування, плазмотронів тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисов, Ю. С. Упрочняющая обработка деталей машин высокоэнергетической плазмой / Ю. С. Борисов, Ю. Н. Тюрин. — К. : Техника, 1991. — 36 с.
2. Борисов, Ю. С. Влияние условий нагрева поверхности изделия на структуру упрочненных слоев стали У8 при плазменно-детонационной обработке / Ю. С. Борисов, О. В. Колисниченко // Автоматическая сварка. — 2003. — № 3. — С. 31—35.

3. Борисов, Ю. С. Влияние плазменно-детонационной обработки поверхности на тепловое состояние и фазовый состав модифицированных слоев стали У8 / Ю. С. Борисов, О. В. Колисниченко // Автоматическая сварка. — 2003. — № 4. — С. 23—27.
4. Гаркуша, И. Е. Модификация конструкционных и инструментальных материалов при облучении плазменными потоками / И. Е. Гаркуша, Н. Т. Дереповский, О. Е. Казаков // Вопросы атомной науки и техники. — 1997. — С. 172—175.
5. Жадкевич, М. Л. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента / М. Л. Жадкевич, Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко // Оборудование и инструмент для профессионалов. — 2003. — № 4. — С. 40—41.
6. Жуков М. Ф. Электродуговые нагреватели газа (Плазмотроны) / М. Ф. Жуков, В. Я. Смоляков, Б. А. Урюков. — М. : Энергоатомиздат, 1973.—254 с.
7. Коротеев А. С. Электродуговые плазмотроны / А. С. Коротеев — М. : Машиностроение, 1980. — 175 с.
8. Лыков А. М. Плазменное упрочнение гребней локомотивных и вагонных колес / А. М. Лыков, В. Э. Маслов, Л. А. Глибина // Вестник ВНИИЖТ. — 2005. — № 1.
9. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комаров — К. : Техника, 1990. — 109 с.
10. Рыкалин Н. Н. Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов / Н. Н. Рыкалин, И. Д. Кулагин; — М., 1965. — 12 с.
11. Рыкалин Н. Н. Термическая плазма в металлургии и технологии / Н. Н. Рыкалин. — Москва, 1977. — 72 с.
12. Тополянский П. А. Исследование адгезионных свойств и механизма образования покрытия, наносимого методом финишного плазменного упрочнения : материалы 6-й международной практической конференции-выставки, Санкт-Петербург, 19—16 апреля 2004 г. / П. А. Тополянский ; редкол. Н. А. Соснин (отв. ред.) и др. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 590 с. — В надзаг.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, научно-производительная фирма «Плазмацентр», межрегиональный центр экономики техники.
13. Тополянский П. А. Финишное плазменное упрочнение инструмента, штампов и пресс-форм : материалы 6-й международной практической конференции-выставки, Санкт-Петербург, 19—16 апреля 2004 г. / П. А. Тополянский ; редкол.: Н. А. Соснин (отв. ред.) и др. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 590 с. — В надзаг.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, научно-производительная фирма «Плазмацентр», межрегиональный центр экономики техники.
14. Тополянский П. А. Плазменное нанесение тонкопленочного упрочняющего покрытия с минимальным термическим воздействием на острые кромки : материалы 6-й международной практической конференции-выставки, Санкт-Петербург, 19—16 апреля 2004 г. / П. А. Тополянский, С. А. Ермаков, Н. А. Соснин ; редкол.: Н. А. Соснин (отв. ред.) и др. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 590 с. — В надзаг.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, научно-производительная фирма «Плазмацентр», межрегиональный центр экономики техники.
15. Тополянский П. А. Финишное плазменное нанесение тонкопленочного упрочняющего покрытия на цилиндрические детали, инструмент и оснастку : материалы 6-й международной практической конференции-выставки, Санкт-Петербург, 19—16 апреля 2004 г. / П. А. Тополянский, С. А. Ермаков, Н. А. Соснин ; редкол.: Н. А. Соснин (отв. ред.) и др. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 590 с. — В надзаг.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, научно-производительная фирма «Плазмацентр», межрегиональный центр экономики техники.
16. Тополянский П. А. Исследование эффективности применения защитного экрана при финишном плазменном упрочнении : материалы 6-й международной практической конференции-выставки, Санкт-Петербург, 19—16 апреля 2004 г. / П. А. Тополянский, С. А. Ермаков, Н. А. Соснин; К. В. Юлинецкий ; редкол.: Н. А. Соснин (отв. ред.) и др. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 590 с. — В надзаг.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, научно-производительная фирма «Плазмацентр», межрегиональный центр экономики техники.
17. Тюрин, Ю. Н. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента / Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, Н. Г. Цыганков // Автоматическая сварка. — 2001. — № 1. — С. 38—41.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 28.09.09

Савуляк Валерій Іванович — завідувач кафедри, **Шапалова Олеся Василівна** — аспірант.

Кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет