

УДК 621.793.620.172

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕНОВАЦІЇ І ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

В.М. Лопата¹, канд. техн. наук,
І.П. Рибак¹, д-р філос., доцент
В.І. Калініченко², канд. техн. наук,
І.Р. Качинська, гол. інж. дослідник ²

¹Національного транспортного університету, Київ

²Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ

Вступ. Більшість відмов автомобільного транспорту (АВТ) відбувається внаслідок поверхневого руйнування і насамперед від зношування його деталей. Розробку ефективних способів боротьби зі зносом, збільшення довговічності деталей можна віднести до важливих проблем автомобільної галузі.

Дослідження в галузі тертя, зношування та принципово нових типів матеріалів стали передумовою для створення на цій основі нових способів і технологій, спрямованих на вирішення питань збільшення довговічності швидкозношуваних деталей АВТ.

Мета досліджень – дати характеристику інтегрованих технологій зміцнення (відновлення), а також показати перспективу їх розвитку. Запропонувати гібридний (комбінований) спосіб підвищення ресурсу деталей автомобільного транспорту.

Результати досліджень. Одним із шляхів підвищення працездатності деталей АВТ та захисту контактних поверхонь від зносу є нанесення зносостійких покриттів на їхні робочі поверхні. Характерною особливістю технологій нанесення покриттів є те, що не вдається отримати одночасного підвищення всіх властивостей деталі для всіх режимів експлуатації. Навіть той самий матеріал покриття, але нанесений різними способами, показує різні експлуатаційні властивості. Для усунення цього недоліку розробки покриттів використовують два метода [1]: 1) створення багатошарових покриттів. При цьому кожен шар у багатошаровому покритті виконує власну функцію і забезпечує перехід фізико-механічних властивостей від поверхні покриття до поверхні деталі, що зміцнюється (відновлюється); 2) створення багатокомпонентних шарів змінного складу за товщиною покриття.

Обидва методи значно здорожчують технологію одержання покриття та знижують його якість і надійність. У спробах усунення недоліків цих методів одержання покриттів спостерігаються дві основні тенденції [1]: нанесення багатошарових, багатofункціональних покриттів та розвиток інтегрованих багатоопераційних технологій.

З інтегрованих технологій найбільший ефект щодо несучої здатності забезпечують дуплексні покриття, що поєднують, наприклад, попереднє глибоке іонне азотування (ІА) і зовнішній тонкий шар надтвердого вакуум-плазмового покриття. Ця інтегрована технологія забезпечує 10-кратне підвищення довговічності деталей, які експлуатуються за умов високих контактних тисків [2]. Знаходять застосування інтегровані технології в комбінації лазерного легування та хіміко-термічної обробки (ХТО) [2]. Ця комбінація дозволяє отримувати покриття твердістю до 20 ГПа і призводить до збільшення зносостійкості в 1,5-3 рази в порівнянні з азотованими сталями [2]. Азотований шар, попередньо легований хромом та ванадієм, має твердість 16-18 ГПа. Лазерне легування алюмінієм прискорює дифузію азоту, а твердість сягає 21 ГПа [2]. У порівнянні з

технологіями газового азотування або лазерною обробкою (ЛО), зносостійкість при інтегрованій технології підвищується в 2,5 рази [2]. Попередня ЛО робить істотний внесок у процес подальшого газового азотування [2]. При цьому якісний та кількісний характер змін в азотованому шарі визначається заздалегідь сформованим структурно-фазовим станом. Підвищена розчинність азоту в кристалічній решітці сталі при обробці поверхні лазерним променем, є наслідком утворення високої щільності рухомих дислокацій, а також сильного диспергування вихідної структури зерен. При цьому процес насичення поверхні азотом пришвидшується у 17 разів [2].

Перспективним є поверхове зміцнення (відновлення) комплексними або комбінованими методами нанесення зносостійких покриттів з модифікуванням поверхонь [2]. Комбіноване зміцнення (відновлення деталей) засноване на використанні двох або трьох методів, кожен з яких дозволяє підвищити ту чи іншу їхню експлуатаційну якість. Застосовують комбінації наплавлення та хромування, наплавлення та поверхневого пластичного деформування (ППД), газотермічного напилення (ГТН) з оплавленням [2]. Використовують комбінацію гальванічних покриттів і наступну ХТО [2], двошарове хромове покриття з подальшою механічною обробкою (МО) та зміцненням [2]. Підвищують триботехнічні характеристики композиційних електролітичних покриттів ЛО, ультразвуковою обробкою (УЗО), ІА [2]. При УЗО розмір зерен у покритті залежить від інтенсивності обробки та змінюється від 45 НМ до 24 НМ [2]. Іонне азотування підвищує зносостійкість при абразивному зношуванні за рахунок перетворення електроосадженого хрому на нітрид Cr_2N [2]. Визначено механізм впливу термообробки (ТО) на зміцнення електроосадженого Fe-V-покриття, що забезпечує підвищення зносостійкості [2]. Технологія відновлення зношених деталей електролітичним залізненням з наступною нітроцементациєю забезпечує високі експлуатаційні характеристики - міцність зчеплення, зносостійкість, міцність втоми [2]. Ефективне сульфоціанування електроосадженого Fe-V-покриття забезпечує підвищення зносостійкості та зниження коефіцієнта тертя [2]. Комбінація ЛО з ІА істотно збільшує глибину зміцненої зони і підвищує зносостійкість порівняно з ІА [2]. Електроіскрове легування (ЕІЛ), як і лазерні технології, відноситься до способів, що використовують висококонцентровані енергетичні джерела. Ефективна комбінація ЕІЛ із наступним ІА [2]. Цим суттєво збільшується глибина шарів підвищеної твердості. А ось комбінація ЛО та ЕІЛ забезпечує вкрай незначний ефект [2]. Відзначають суттєве підвищення зносостійкості матеріалів, що модифікуються поєднанням методів іонної, електронно-променевої (ЕЛО) і ЛО [2]. У комбінаціях технологій ЕІЛ, ЛО та ЕЛО з ІА спостерігається ефект неадитивності.

По даним Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона комплексні або комбіновані методи нанесення покриттів отримали назву «гібридних процесів зміцнення [1, 2]. В теперішній час в практиці відновлення (зміцнення) найшли застосування слідуєчі «гібридні процеси» [1, 2]: ХТО з ППД; ХТО з послідуєчою електроконтактною обробкою; ГТН з послідуєчою холодною прокаткою; електромагнітна наплавка з послідуєчою термомеханічною обробкою (ТМО); ППД з електроімпульсною обробкою; ППД з мікродуговим оксидуванням (МДО); напилення з вібраційною обробкою (ВО); зміцнення гальванічних покриттів ППД; лазерне загартування або легування з ППД; лазерно-ультразвукове легування; УЗО газотермічних покриттів; ЛО плазмових покриттів; ЕЛО електролітичних хромових покриттів; лазерне зміцнення іоно-азотованого шару; ХТО лазерно-легованої сталі.

Нині ще розроблено методологію синтезу багатоопераційних технологій. В інтегруванні технологій переважає емпірично-інтуїтивний підхід.

Слід зазначити явище інверсії, коли зміна послідовності операцій зміцнення призводить до результатів, що відрізняються. Оптимальний вибір операцій та його послідовність визначається підвищенням твердості, комплексу механічних властивостей,

зносостійкості. Попередню ХТО доцільно використовувати для підготовки поверхні під ЕІЛ, а фінішне ЕІЛ цементованих та азотованих поверхонь забезпечує додаткове підвищення твердості та зносостійкості [2]. Різна послідовність ЕІЛ та азотування дозволяє керувати розподілом мікротвердості в приповерхневому шарі [2]. Відзначають інверсію у комбінації ЛО та ІА [2]. Лазерна обробка азотованого шару забезпечує збільшення глибини азотованого шару [2]. Дробеструменева обробка азотованого шару підвищує зносостійкість і межу витривалості [2].

У всіх варіантах комбінованих (гібридних) технологій критерієм вибору є порівняння витрат та збільшення комплексу механічних властивостей зміцнених деталей [1].

З різноманітності первинних технологій, наймасовіші технології, що застосовуються в автомобілебудуванні та авторемонті – методи ГТН [2]. Однак плазмове та детонаційне напилення вимагають великих витрат: висока вартість обладнання, застосування дорогих газів, відсутність достатнього науково-технологічного забезпечення та кваліфікованих кадрів. Електродугове напилення (ЕДН) відрізняється простотою, дешевизною та високою продуктивністю [2, 3]. У зв'язку з цим ЕДН використовується для підвищення ресурсу деталей АВТ з метою забезпечення авторемонтних підприємств змінно-запасними є актуальним.

ЕДН застосовується для відновлення зношених чавунних, високовуглецевих та високолегованих сталевих деталей циліндричної форми зі зношеними посадковими місцями та деталей плоскої форми з кольорових металів, що працюють в умовах тертя ковзання та мастила, захисту від корозії шляхом напилення алюмінієм та цинком [1-3]. ЕДН відновлюють опорні шийки розподільних та колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння [2, 3].

Високі властивості покриттів при ЕДН досягаються застосуванням композиційних порошкових дротів (ПД) [3]. Захист від окислення та високі властивості покриттів досягаються за рахунок взаємодії компонентів порошкової шихти між собою, при цьому відбуваються процеси відновлення оксидів та легування сталеві основи деталей. При ЕДН технологічно можливе застосування будь-якої марки дроту для різних цілей. Однак найбільше застосування знаходять композиційні ПД, оболонка яких виготовлена зі сталей Св08, Св08Г2С, 30ХГСА, Сталь 70, У8, У10, 20Х13, 40Х13, 65Г, а наповнювач - феросплави, карбіди, карбобриди [3]. Покриття, отримані напиленням ПД, мають велику твердість і зносостійкість. Практика застосування композиційних ПД при ЕДН показує, що експлуатаційні властивості покриттів із них вищі, ніж із гомогених. Переваги ПД обумовлюються не тільки гетерогенною структурою покриття після напилення, але й активною взаємодією компонентів порошкової шихти один з одним при напиленні та з поверхнею деталі.

Головні недоліки напилених покриттів – низька міцність зчеплення та висока пористість [2]. Поліпшують ці властивості ЛО, електронно-променевим зміцненням, оплавленням і ХТО [2].

Найбільш численні дослідження лазерного зміцнення покриттів [2]. Лазерне оплавлення напилених покриттів збільшує мікротвердість у 2 рази, зносостійкість у 1,3-1,8 рази. Оплавлення напилених покриттів здійснюють струмами високої частоти, високошвидкісним імпульсно-плазмовим струменем [2]. Істотний ефект підвищення мікротвердості та зносостійкості забезпечує ЕПО напилених покриттів [2]. Аналіз структури показав, що мікротвердість покриттів збільшується в п'ятеро. Межа витривалості підвищується на 60-80%, а міцність зчеплення – у 2,5...3,5 разів після ЕПО [2].

Для підвищення триботехнічних характеристик напилених покриттів використовують УЗО, зокрема одночасно з плазмовим напиленням [2]. Ефективне застосування ХТО після напилення. Після борування зносостійкість напилених покриттів із сталі Св-08 при сухому терті підвищилася вдесятеро. Підвищилася також адгезійна міцність напилених покриттів.

Іонне азотування напилених із сталей 40X13 та X18H10T покриттів забезпечувало їхню мікротвердість від 6,5 до 15 ГПа. У цьому зносостійкість збільшилася 8 разів [2].

В умовах дефіциту дорогих легуючих матеріалів, що входять до складу сталей, що вимагають високого комплексу властивостей міцності, перспективними для ЕДН є маловуглецеві низьколеговані сталі. При ЕДН відбувається вигорання вуглецю та зниження твердості та зносостійкості покриттів. З метою використання при ЕДН дешевих сталей, але при цьому отримувати покриття з високою твердістю, була запропонована гібридна (комбінована) технологія ЕДН з наступним ІА (рис. 1).

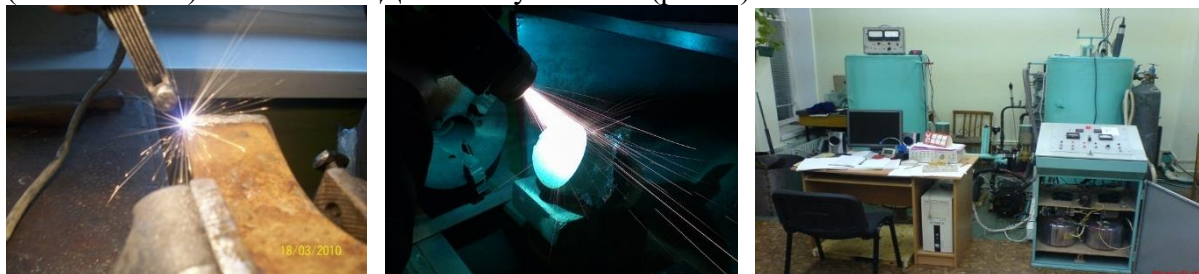


Рисунок 1 – Приклад інтегрованої технології (ЕІЛ+ЕДН+ТЦ ІА) нанесення покриттів: а) ЕІЛ; б) ЕДН; в) ТЦ ІА

При відновленні (зміцненні) поверхонь деталей ЕДН необхідна попередня обробка поверхні, що напилюється, для забезпечення надійного контакту розпилюваного матеріалу і основного металу шляхом активації поверхневого шару основи і видалення забруднень. Попередня обробка поверхні основного металу виконується різноманітними технологічними методами. На першій стадії підготовки поверхні проводиться знежирення видалення різних забруднень. Далі слідує МО поверхні. Серед усіх методів найбільш продуктивними є обробка дробом, обдування піском, нарізування рваного різьблення, нанесення різної форми насічок (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив способу підготовки поверхні при ЕДН на міцність зчеплення та ефективний коефіцієнт концентрації напружень

| Спосіб підготовки | Міцність зчеплення з основою, МПа | Ефективний коефіцієнт концентрації напружень |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| Обробка дробом | 22 | 0,78 |
| Обдування піском | 20 | 0,91 |
| Нарізування різьблення | 23 | 1,3 |
| Нанесення насічок | 22 | 1,29 |
| Електроіскрова | 23 | 1,08 |

Під час розробки гібридної технології доцільно перед напиленням здійснювати попередню обробку поверхні ЕІЛ (рис. 1, а). Процес зміцнення (відновлення) деталей АВТ гібридною (комбінованою) технологією ЕІЛ+ЕДН+ІА представлений рисунку 1.

Висновки. Як показує вітчизняний та зарубіжний досвід, відновлення-зміцнення деталей АВТ найефективніше шляхом нанесення на робочі поверхні захисних покриттів за допомогою гібридних (комбінованих) технологій. Створення технологічних процесів із застосуванням комбінованих (гібридних) технологій є досить актуальним завданням та може зробити автомобілебудування та авторемонтне виробництво рентабельним.

Запропоновано для реновації та підвищення ресурсу деталей АВТ використовувати вперше розроблену гібридну (комбіновану) технологію ЕДН у комбінації з ЕІЛ та ІА. Гібридна технологія ЕІЛ+ЕДН+ІА має ряд переваг: підвищуються фізико-механічні властивості покриття, зокрема, міцність зчеплення, щільність, твердість та зносостійкість.

Електроіскрове легування виконує функцію попередньої обробки поверхонь перед напиленням і підвищує міцність зчеплення покриттів, що напилюються. Операцію ІА напиленого покриття можна поєднати з фінішною обробкою до необхідної твердості і чистоти поверхні деталі, що зміцнюється (відновлюється); знижується вартість зміцнення (відновлення) деталей за рахунок зниження вартості покриттів шляхом заміни дорогих порошкових дротів на дешевші низьколеговані вуглецеві сталеві драти.

Список використаних джерел

1. Покрyтия и их использование в технике // В кн. «Прочность материалов и конструкций», п/ред. В.Т. Троценко – 2-е изд. – К.: Академперіодика, 2006. –С.981-1074.
2. Ляшенко Б.А., Лопата Л.А., Соловых Е.К., Соловых А.Е., Ворона А.В., Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих защитных покрытий. Констрування, виробництво та експлуатація сільськогосподарські машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.41, часть 2, Кіровоград, 2011, С.73-79.
3. Похмурська Г.В., Довгунік В.М., Студент М.М. Зносостійкість лазерно модифікованих електродугових поривів з порошкового дроту ФМІ-2. ФХММ. 2003. 39, №4. С.61-64.