

**Посонський С.Ф.**Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна**АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСКРЕТНОГО  
ЗМІЦНЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСО-  
СТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТРИБОЕЛЕ-  
МЕНТІВ**

Традиційні технології зміцнення і підвищення зносостійкості поверхонь деталей вузлів тертя машин та механізмів ґрунтуються на оптимізації вибору матеріалів трибоелементів, режимів їх термічної та хіміко-термічної обробки, поверхневого пластичного деформування, наплавлення, напилювання та інших процесах нанесення покриттів. Такі технології широко використовуються в різних галузях машинобудування та в інструментальному виробництві.

Вибір технології модифікації робочих поверхонь вузлів тертя являє собою складну технологічну і техніко-економічну задачу. Аналіз відомих різних методів модифікації поверхні деталей [1, 2] дозволяє провести класифікацію їх за механізмами модифікації: термічні, механічні, фізичні, хімічні і комбіновані.

До термічних – відносяться методи, що забезпечують утворення твердого зносостійкого поверхневого шару деталі за рахунок структурно-фазових перетворень металу, дифузійних процесів, зміни густини дислокацій і концентрації напружень [3]. Можливість застосування цих методів обмежено по матеріалам для загартовування та наявності на поверхнях загартованих деталей оксидних плівок. Також має місце знеуглецювання поверхневого шару сталей, нерівномірність глибини і твердості загартованого шару, зниження в'язкості матеріалу, різкий перехід від зміцненого матеріалу до основи [4, 5, 6].

До хімічних – відносять методи утворення твердих, зносостійких, антифрикційних та антикорозійних покриттів за рахунок гідролізу розчинів етилових ефірів ортокислот та інших сполук [7]. Основним недоліком таких методів є екологічно небезпечні процеси, складність отримання однорідної по товщині оксидної плівки при гідролітному осадженні, покриття хімічним методом можна наносити лише на поверхні каталітично активних металів і матеріалів.

Фізичні методи, це методи фізичної модифікації. До них відносять газо-термічні методи плазмової, електродугової металізації і детонаційного напилення покриттів, що забезпечують підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, жароміцності, відновний ремонт, тощо [8, 9, 10]. Застосування цих методів дозволяє отримувати покриття не тільки з металів та їх сплавів, а і з оксидів, карбідів, боридів, склофосфора і органічних матеріалів [11]. Загальними недоліками методів фізичної модифікації є висока енергоємність процесів та складність устаткування.

До механічних – відносять методи підвищення якості поверхні за допомогою поверхнево пластичного деформування (ППД) варіюючи геометричними і фізичними факторами: зміною рельєфу поверхні; видалення тонких дефектних поверхневих шарів, підвищення щільності дислокацій, виникнення стискуючих залишкових напружень, тощо [12, 13, 14].

До цих методів також відносять фінішну антифрикційну без абразивну обробку (ФАБО), при якій на поверхні пар тертя наноситься шар м'якого антифрикційного матеріалу зі сполук міді чи олова [15], та епіламування [5], при якому створюється м'яке покриття, що адсорбується на поверхні деталі шаром високомолекулярних поверхнево-активних речовин.

Загальними недоліками методів ППД є складність регулюванням процесу з перенаклепом (розтягуючі залишкові напруження) поверхонь.

Комбіновані методи включають в себе хіміко-термічну (ХТО), електрохімічну і термомеханічну обробки.

У промисловості застосовують такі хіміко-термічні методи, як азотування, цементация, нітроцементация, сульфидування, борування, тощо, які поліпшують протизадирні властивості і запобігають схопленню поверхонь тертя. Недоліками є складність технології, енергоємність, та рентабельність устаткування.

В основному, зазвичай, традиційні методи модифікації робочих поверхонь вимагають дорогого і складного у відношенні експлуатації і технічного обслуговування обладнання, супроводжуються утворенням екологічно небезпечних продуктів, відрізняються довгою тривалістю процесів обробки, які до того ж важко піддаються автоматизації з використанням сучасних програмних продуктів.

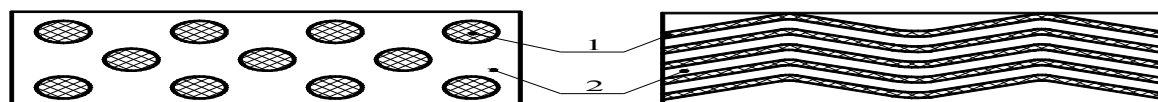
Спільною і характерною ознакою традиційних технологій є суцільна зміна властивостей поверхневого шару, зокрема підвищення його твердості, що не завжди відповідає вимогам зменшення зносу. Тому пошук нових високоефективних технологій підвищення зносостійкості трибоелементів залишається актуальною задачею сьогодення.

Одним з перспективних напрямів поліпшення експлуатаційних властивостей трибоелементів машин та механізмів і, зокрема підвищення їх зносостійкості, є зміцнення поверхневого шару високое-

фективними електрофізичними способами обробки [16], які ґрунтуються на комплексній термодетонаційній дії при пропусканні електричного струму густиною  $100..110 \text{ A/мм}^2$  напругою  $2..6 \text{ В}$  через зону контакту оброблюваної поверхні і деформуєчого електрода-інструменту. При цьому внаслідок виділення великої кількості тепла, відбувається швидкісне нагрівання ( $100 \text{ }^\circ\text{C/сек}$ ) і наступне інтенсивне охолодження ( $100 \text{ }^\circ\text{C/сек}$ ) за рахунок відведення тепла в тіло оброблюваного виробу. За умов потужного теплового «удару» на поверхні матеріалу формується наноструктурний мартенсит (гарденіт), наділений високою міцністю і зносостійкістю. За літературними даними зносостійкість деталей рухомих спряжень підвищується у  $2..6$  разів залежно від умов тертя, втомна міцність зростає на  $30..70\%$ , а довговічність деталей, працюючих при циклічних навантаженнях, – більше ніж на порядок.

Авторами роботи [17] наведені результати науглецювання поверхні деталі з низько вуглецевої сталі електроконтактним способом. Як карбюризатор використовували вуглецевий дисперсний матеріал мікронного діаметра, наділений електричною провідністю і достатнім електричним опором для швидкого нагрівання до високих температур; достатньою теплопровідністю, щоби швидко передати накопичену в них теплоту в прилеглий поверхневий шар сталі і зумовити швидке його оплавлення; високою змочуваністю рідкою сталлю (у порівнянні з графітом та іншими видами карбону), що дозволяє за час менше секунди перетворити її в розплав високо вуглецевої сталі або білого чавуну; розчинністю в рідкій сталі без внесення в неї центрів графітізації, характерних для насичених і ненасичених розчинів графіту у рідкому залізі, внаслідок чого розплав твердіє білим навіть тоді, коли його хімічний склад наближається до складу цементиту  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Унікальні фізичні і технологічні властивості дисперсного вуглецевого матеріалу в сукупності з електроконтактним нагріванням, на думку авторів, забезпечили успіх в створенні принципово нового процесу науглецювання і легування поверхні сталевих деталей на задану глибину під дією короткочасного імпульсу струму, що дозволяє підвищити швидкість цих процесів на декілька порядків у порівнянні з традиційними методами хіміко-термічної обробки.

Основною проблемою використання покриттів є можливість їх руйнування, що виникає за рахунок когезійного розтріскування та адгезійного відшарування покриття від основи. Тому останнім часом в науковій літературі значна увага приділяється теорії та практиці дискретного зміцнення поверхневого шару трибоелементів [18, 19], яке полягає у створенні чергування в заданій послідовності (дискретно) високоміцних 1 і пластичних ділянок 2 (рис. 1). При чому, конструктивні параметри покриттів дискретного типу (товщина, протяжність ділянки, крок, форма) визначаються з умов мінімізації пружно-деформованого стану поверхневого шару [5].



а)

б)

Рис. 1 – Різновиди дискретного зміцнення:

а – сферичні;  
б - лінійні

Так, в роботі [20, 21] запропоновано і обґрунтовано дискретне зміцнення робочих поверхонь корінних і шатунних шийок колінчастих валів як альтернатива стандартним технологіям азотування і гартування струмами високої частоти. Показано, що для дискретного зміцнення матеріалів найбільш оптимальним є метод електроіскрового легування, суть якого полягає в переносі металу з анода на катод у момент іскрового розряду між ними. Наведені результати досліджень впливу дискретного зміцнення електродом зі сталі 08X18H10T діаметром 1 мм на механічні і триботехнічні властивості сталі 42ХМФА за ГОСТ 4543-88 і високоміцного легуваного чавуну з кулястим графітом, модифікованим магнієм (ТУ Д70.05ДТ:1978), які відповідно використовуються для виготовлення колінчастих валів двигунів автомобілів серії КамАЗ та двигунів типу Д80 для транспортної техніки залізниць. Встановлено, що основними технологічними чинниками дискретного зміцнення, які визначають триботехнічні властивості матеріалів і експлуатаційні характеристики деталей, є дискретність зміцнення, величина струму розряду, товщина і матеріал електрода. Показано, що найвищий рівень зносостійкості робочої поверхні шийок колінчастих валів забезпечується, якщо величина дискретності складає  $50..70\%$  при силі струму розряду  $60..70 \text{ А}$ . За таких умов отримують зміцнений шар (у плямі) глибиною  $250..400 \text{ мкм}$  з твердістю в

межах 500...1000 МПа. Зносостійкість чавунних колінчастих валів збільшується у 8...10 разів в порівнянні з нормалізованими і у 1,3...1,5 рази в порівнянні з загартованими СВЧ, а сталевих – у 1,5...3,5 рази в порівнянні з азотованими валами. При цьому коефіцієнт тертя в трибосистемі шийка колінчастого вала – вкладиш підшипника знижується до 0,012.

Для визначення впливу дискретного покриття на зносостійкість авторами роботи [22] проведені випробування на зразках зі сталі 40Х, що широко використовується в парах тертя, з покриттям суцільного і дискретного типу товщиною 4...8 мкм. В роті показано, що поверхні з дискретним покриттям  $TiN$  мають в 2,2 рази вищу зносостійкість при терті без мащення, та в 2,46 рази при терті в середовищі мастила (МС22) по відношенню із зносостійкістю суцільного покриття. Також слід відмітити, що коефіцієнт тертя зразків при дискретному покритті зменшується в 1,5 – 2,5 рази, порівняно із зразками з суцільним покриттям.

### Висновки

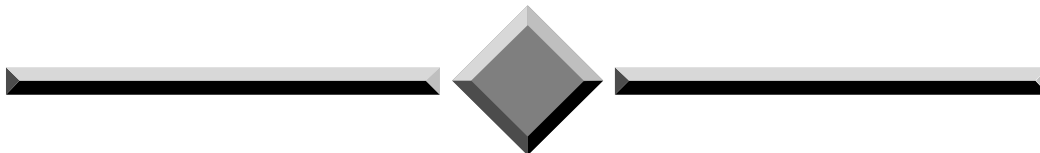
Аналітичний огляд літературних джерел і патентний пошук досліджень способів і сучасних технологій підвищення зносостійкості трибоелементів показує, що дискретне електромеханічне зміцнення уможливило індивідуальний підхід до обробки кожної конкретної поверхні з урахуванням умов її експлуатації і схеми навантаження, дозволяє обробку поверхні з формуванням заданого розподілу фізико-механічних властивостей по її локальних зонах та створення регулярних дискретних структур і мікрорельєфів поверхні. Однак, на даний момент, відсутні науково обгрунтовані методи побудови такої поверхні, недостатньо розвинена технологія для ефективного виготовлення таких поверхонь, тому дискретне зміцнення є актуальною проблемою і потребує подальшого вивчення.

### Література

1. Новиков Н.В., Бидный А.А., Ляшенко Б.А. и др. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей. – К: Ин-т сверхтвердых материалов, 1989. – 112 с.
2. Харламов Ю.А. Методы модифицирования поверхностных слоев деталей машин и инструментов // Сучасне машинобудування. – 2000. – № 3-4. – С. 9-17.
3. Трение, изнашивание и смазка. Справочник: В 2-х кн. Кн.1 / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина.– М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
4. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий ионной имплантацией, ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: В 2-х книгах. – Харьков: АИНУ, 2002. – Кн.1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 588 с.
5. Киричек А.В. Повышение эффективности упрочняющих технологий / Киричек А.В.// Справочник. Инженерный журнал. – 2004.– №3. – С. 15-20.
6. Кравченко Б.А. Термопластическое упрочнение жаропрочных никелевых сплавов с использованием лазерного нагрева / Кравченко Б.А., Каюков С.В., Гусев А.А. // Физика и химия обработки материалов.– 1999. – №6.– С. 17-21.
7. Лаврищев А.П. Технология тонкослойных покрытий: Учеб. для опт.-мех. техн.– М.: Машиностроение, 1983. – 184 с.
8. Лопата Л.А. Повышение качества металлизационных покрытий / Лопата Л.А., Савченко Н.А. // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць НТУ „ХПІ”.– Харків, 2001.– С. 175-176.
9. Загорский В.К. Электродуговое упрочнение бандажей колесных пар на транспорте. Эксплуатационные испытания упрочненных бандажей колесных пар на электротранспорте / Загорский В.К., Хусаинов М.А., Загорский Я.В. // Вестник ГЭТ России. – 2001. – №6(45). – С.8-16.
10. Тюрин Ю.Н. Особенности плазменно-детонационного модифицирования поверхности сплавов на основе титана / Тюрин Ю.Н., Адеева Л.И. // Автоматическая сварка. – 1999. – № 3. – С. 43-47.
11. Третьяк М.С. Твердость покрытий из различных присадочных материалов при электродуговой металлизации / Третьяк М.С., Чупрасов В.В. // Инженерно-физический журнал.– 1999.– Т.72, №5.– С. 983-987.
12. Патент РФ №759299 В24 В39 00. Способ упрочняюще-чистой обработки поверхностей / Гурьев А.В., Маловечко Г.В., Паршев С.Н.
13. Патент РФ №1156900 В24 В39 00. Способ обработки поверхностей изделий поверхностным пластическим деформированием / Желтов В.Г., Маловечко Г.В., Малов В.А., Паршев С.Н., Попов А.В.

14. Харламов Ю.А. Методы модифицирования поверхностных слоев деталей машин и инструментов / Харламов Ю.А. // Сучасне машинобудування. – 2000. – № 3-4. – С. 9-17.
15. Прокопенко А.К. Разработка и внедрение технологий нанесения покрытий фрикционной обработкой в металлоплакирующих средах / Прокопенко А.К. // Автоматизация и современные технологии. – 1999. – №5. – С. 5-8.
16. <http://www.vstu.ru/chairs/sm/eom/>
17. Сывынюк В.Г. Электроконтактное легирование поверхности стальных деталей волокнистым углеродным материалом / Сывынюк В.Г., Жуков А.А., Заречный А.М. //Сварочное производство. 1987. - №2. – С.10-11.
18. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. // Технологические системы. 2001. № 4. – С. 17-25.
19. Антонюк В.С. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при модификации поверхности режущего инструмента / Антонюк В.С., Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б.// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. - № 3. – С. 49-50.
20. Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Харків, 2008.
21. Кравченко С.А. Повышение надёжности деталей двигателей метод дискретного упрочнения / Кравченко С.А., Гончаров В.Г. // Двигатели внутреннего сгорания. 2009. - № 1. – С. 97-99.
22. Ляшенко Б.А. Технологические, конструктивные и эксплуатационные особенности упрочняющих покрытий дискретной структуры на деталях машин и инструменте / Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Сорока Е.Б., Антонюк В.С. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – С. 292 – 297.

Надійшла 23.06.2010



**ЧИТАЙТЕ**

журнал

**“Problems of Tribology”**

во всемирной сети

**INTERNET !**

**<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>**