

КОМПЛЕКСНІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Розглядаються комплексні методи виготовлення та зміцнення робочих поверхонь деталей пар тертя. Запропоновано комплексний метод зміцнення поверхонь деталей машин, при якому формується композитна будова зміцненого шару з якісними фізико-механічними характеристиками, низькою шорсткістю та високою точністю.

The complex manufacturing methods and strengthen working surfaces of friction pairs have been considered. The complex method of strengthening surfaces of machine parts offered within composite structure formation of hardened layer of quality physical and mechanical properties, low roughness and high accuracy.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для підвищення фізико-механічних характеристик виконавчих поверхонь деталей машин традиційно використовують методи поверхневого зміцнення: термічна обробка (поверхневе гартування з наступним відпуском); хіміко-термічна обробка (азотування, титанування, карбонітрація, хромування, борування, сіліціювання та інші); гальванічна обробка; поверхневе пластичне деформування та багато інших. Розробка нових машин що працюють при підвищених швидкостях та навантаженнях, висувають нові вимоги до фізико-механічного стану поверхонь деталей, коли традиційними методами їх вже неможливо задовольнити. Таке становище потребує розробок нових методів зміцнення, результатом яких будуть поверхні деталей машин з високими якісними та кількісними показниками.

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідити сучасні комплексні та комбіновані методи поверхневого зміцнення деталей машин та механізмів для отримання покриттів низької крихкості високих твердості та зносостійкості для збільшення їхнього ресурсу.

3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Із розвитком машинобудування і, відповідно, зростанням вимог до

¹ Українська академія друкарства.

фізико-механічних та експлуатаційних властивостей деталей, поширюються комбіновані методи відновлення поверхонь деталей машин. Вони полягають в одночасному застосуванні двох чи більше способів поверхневої обробки для досягнення оптимальних результатів.

У деяких джерелах [1] обробку, що здійснюється одночасно і послідовно декількома методами називають комплексною. Також, із очки зору Ю.Н. Дроздова комбіновані методи можуть представляти як суміщення двох або більше відомих методів в одному технологічному процесі, так і послідовне застосування кожного з них окремо [2].

На даний час розвиток комбінованих зміцнювальних методів розвивається в декількох основних напрямках.

Ряд досліджень пов'язані з одночасним використанням ХТО деталей з іншим видом обробки для отримання покриття певної структури та складу.

Найпоширенішими, завдяки простоті реалізації в промислових умовах, є поєднання способу ХТО з наступною термічною обробкою. Автори [3] після ХТО, отриманих різноманітними способами хіміко-термічної обробки (науглецювання, азотування, борування і хромування), проводять термообробку, яка визначається конкретно для кожного виду ХТО. Рекомендується використовувати в умовах зношування при високих тисках деталі з боридними дифузійними шарами (твердістю 1420 HV₁). Також відмічено високі трибологічні властивості азотованих шарів (твердістю 835 HV₁), особливо в діапазоні невеликих контактних тисків. Отримані ж хромовані дифузійні шари, маючи непогані характеристики (твердість 1980 HV_{0,02}, яка є найвищою серед досліджуваних зразків), мають досить малу товщину (0,0125 мм), що обмежує використання деталей, зміцнених даним способом.

Проводяться дослідження, які полягають у створенні комбінованого методу формування потрібного складу та структури покриттів на поверхні конструкційних, інструментальних залізобуглецевих та спеціальних сплавів багатофункціонального призначення із заданим градієнтом фізико-хімічних та механічних властивостей методом ХТО композитних електролітичних покриттів (КЕП) або їхнього евтектичного оплавлення [4].

Продовжуючи дані дослідження проводяться розробки зі створення та дослідження комбінованих технологічних процесів отримання матричнонаповнених мілі-, мікро- або нанодисперсними вклученнями метало-порошкових формовок. Залежно від напружено-деформованого стану матеріалу композитного покриття із заданою

кількістю розміру та розміщення в матриці, або від виду зміцнення матриці, коли в процесі ХТО КЕП за рахунок дифузійного легування або евтектичної перекристалізації, можна отримати захисні покриття. За мету ставилося отримання покриття триботехнічного призначення із заданим градієнтом структури та властивостей, здатних ефективно працювати у важких умовах тертя і протистояти небажаним процесам внутрішнього тертя. Після ХТО КЕП були отримані композитні покриття складу Ni-TiB₂, Ni-B-C. Покриття складу Ni-Cr-B, що мають будову нікелевої матриці, легованої хромом, з включеннями дрібнодисперсних боридів нікелю, отримували сумісним осадженням нікелю та частинок В та Сг з наступним відпалом у вакуумі. Другий тип електrolітичного покриття містить тверді крупнозерністі включення TiC; TiB₂.

Найвища зносостійкість серед отриманих даним способом композитних покриттів, навантажених силами тертя мають покриття, які складаються з нормально орієнтованих до поверхні тертя безперервних волоконподібних утворення або направлено кристалізованої евтектики. Вони можуть працювати в найважчих умовах трибоконтакту. Для лагідних режимів усталеного процесу тертя рекомендовано матричнонаповнені моно- і багатошарові КЕП, що містять крупнозерністі моно- і полідисперсні включення з тугоплавких металів у дифузійно легованій нікелевій матриці. Для найлегших режимів тертя доцільно обирати дифузійнолеговані та евтектично оплавлені КЕП градієнтного типу, розмір, кількість і розподіл включень котрих у матриці та легуючих її елементів за товщиною і по поверхні змінюється за певними законами.

Автори [5] рекомендують для розробки високоефективних технологій, що підвищують надійність та довговічність машин і механізмів використовувати концентровані джерела енергії. Основними факторами тут є стан поверхні, що визначає властивості поверхонь деталей та вузлів, що є вирішальним фактором при зростанні конкуренції та нарощуванні виробництва. Процес зміни стану і властивостей поверхні авторами названо „інженерією поверхні”, суть якої полягає у „розробці теорії науково обґрунтованого визначення форми робочих поверхонь, їхніх геометричних параметрів і фізико-хімічних властивостей, що забезпечують економічно доцільну довговічність та безвідмовність деталей машин та інструменту, а також технологічного створення таких поверхонь”. І далі вказують, що „Зміцнення робочих поверхонь деталей та інструменту є одним із найбільш ефективних та дієвих способів збільшення ресурсу їхньої роботи”. Недоліками такого виду зміцнення є складність визначення оптимальних режимів поверхневого зміцнення конструктивними

параметрами, що потребує значних затрат часу та матеріалів, а також наявністю вартісного обладнання та висококваліфікованих спеціалістів, що володіють даною технологією та мають достатні практичні навички та досвід.

Автори [6] піднімають проблему підвищення надійності та довговічності сучасних механізмів та машин шляхом нанесення хромових покриттів вакуумним способом на сталях та силумінах, а також корозійно-електрохімічного дослідження такого захисного покриття. Отримані результати дозволяють замінити електролітичні хромові покриття на вакуумні ферохромові товщиною 30...60 мкм, отриманих на дешевих сталях. Недоліком даного способу є потреба у спеціальному обладнанні, кваліфікованому персоналові і отриманих покриттів невеликих товщин.

Окремо слід відмітити дослідження з нанесення покриттів багатокомпонентного насичення. Такі способи поверхневого насичення декількома елементами дозволяють поєднати в покриттях позитивні якості окремих речовин і підвищити швидкість насичення. Особливо часто проводяться дослідження з отримання карбідних (на даний момент в основному двокомпонентних) покриттів.

Наприклад, проводяться дослідження [7] з нанесення двокомпонентних покриттів (хрому та титану) і додатково однокомпонентним (хромом) способом ХТО. Автори, провівши дослідження зразків, покритих карбідами хрому і титану (Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , TiC) загальною товщиною 12 – 18 мкм, дійшли таких висновків. Покриття, які складаються із карбідів стехіометричного складу Cr_7C_3 мають підвищену крихкість. Одночасне дифузійне насичення поверхонь сталей хромом і титаном супроводжуються утворенням у покритті поряд з карбідами хрому карбідів титану, що забезпечує значне підвищення твердості карбідного шару. А збільшення, як вказують автори, об'єму в поверхневому шарі покриття зміцнювальної фази TiC призводить до зниження гранично допустимого робочого тиску на зразок, і, відповідно, зносостійкості. Найбільшу зносостійкість у досліджених авторами умовах мають покриття на основі карбіду хрому стехіометричного складу Cr_{23}C_6 .

Для покриття базових граней з метою підвищення зносостійкості складаних різців застосовують композитні матеріали на основі епоксиполіефірних смол [8]. Завдяки такому виду поверхневої обробки площа дотику в пластин з покриттям у 1,4–1,6 рази більша, ніж у пластин без покриття. У результаті цього зносостійкість складаних різців з композитним покриттям збільшилася в 1,3-1,4 рази в порівнянні із різцями, що випускаються серійно.

Використання методу вакуумно-дугового осадження на модернізованій установці „Булат” шляхом одночасного розпилення титану і легованого елемента в середовищі реакційного газу – азоту дозволяє отримувати багатокомпонентні покриття на основі TiN товщиною 7-10 мкм. Багатокомпонентні покриття (Ti-Cr-N; Ti-Mo-N; Ti-Al-N; Ti-Nb-N), згідно експериментальних даних авторів [9] підвищують стійкість ріжучого інструменту в 3 рази порівняно з TiN. Це пов'язано з впливом третього компонента (Cr, Mo, Al чи Nb) на немонотонну зміну сили тертя залежно від кількості компоненту і в певних концентраціях (для покриттів Ti-Cr-N це Cr – 12...20% мас.; для системи Ti-Mo-N – Mo 8...16% мас.) суттєво підвищує стійкість різального інструменту.

Проводяться розробки [10] із фрикційного зміцнення для покращання експлуатаційних властивостей деталей машин і механізмів шляхом отримання необхідних фізико-хімічних і механічних параметрів поверхні та зміцненого шару за рахунок зміни товщини шару та його мікротвердості, величини і знаку залишкових напружень, зміни хімічного та фазового складу. Для імпульсної фрикційної обробки запропоновано використовувати інструмент з перервною робочою частиною для збільшення зсувного деформування зони контакту і забезпечення імпульсного фрикційного зміцнення. При цьому проходить масоперенос хімічних елементів із технологічних середовищ, а також з поверхні інструмента в поверхневі шари виробів. Зміцнений шар отримує підвищену твердість, дрібну структуру, підвищену кількість залишкового аустеніту, вищу щільність дислокацій порівняно із мартенситом звичайного загартування; формуються залишкові напруження стиску.

Інші автори [11] звертають увагу на проблему обмеженості технологічних методів зміцнення та відновлення робочих поверхонь деталей машин, що застосовуються. Особливо гостро стоїть проблема підвищення ресурсу відновлюваних деталей. Таке становище, на думку авторів, є через обмеження рівня розвитку галузей техніки та технологій, що їх реалізують. Відповідно пропонується застосовувати газотермічне напилення, як технологічний метод зміцнення зношених деталей, але використовуючи при цьому недефіцитні та недорогі порошкові матеріали: марганець та хромові порошки замість нікелевих. Додатково вводять присадки бору та алюмінію. У результаті отримують нові композитні покриття металеві системи Fe-Cr-Mn-Al-B, що не містять у своєму складі дефіцитних компонентів, і які в певних умовах здатні замінити коштовні покриття такого ж значення.

Створюються композитні зміцнювальні покриття [12] шляхом нанесення зміцнених покриттів на основі хрому з гальванічної ванни, які включають в собі новий клас синтетичних алмазних порошоків, отриманих в процесі детонації бризантих вибухових речовин з від'ємним кисневим балансом – ультрадисперсні алмази. Частинки таких алмазів виділяються з суміші продуктів вибуху кисневої обробки при підвищеній температурі та тискові, мають округлу форму без вираженої кристалічної огранки і фрактальну структуру агрегатів.

Перспективними є дослідження, що дозволяють збільшити товщину карбідних покриттів, знизити температуру і час їх формування, запропоновані в роботі [13]. На зміцнювальну поверхню деталі наносять хімічним способом нікельфосфорне або кобальтфосфорне покриття, потім проводять нагрівання оброблених деталей при 800–1000°C протягом 1–6 год. в порошкових насичуючих сумішах (хромування, хромоалітування та ін.). Спосіб дозволяє отримувати карбідні шари товщиною 70-80 мкм, а без попереднього осадження товщина шарів не перевищує 20-25 мкм.

А також на велику увагу заслуговує дослідження [14] з формування на поверхнях деталей машин карбідних покриттів з попереднім цинкуванням. Авторами експериментальним шляхом встановлено, що попереднє цинкування сталей в 1,3 – 11 разів збільшує швидкість формування карбідних покриттів. Цінним результатом даних досліджень є можливість в досить широких межах регулювати будову таких покриттів, а саме: змінювати співвідношення в них карбідів і α -фази, що дає можливість активно впливати на їхні властивості: крихкість, твердість, зносостійкість та міцність зв'язку з основою. Попереднє цинкування реалізується способами хіміко-термічної обробки (зі швидкістю не вище 90 град./хв.), або гальванічного цинкування сталей. Основну роль в інтенсивному масопереносі хрому при низьких температурах (до 700°C, тобто на початку ХТО) відіграє рідкометалева фаза (РМ-фаза). Завдяки їй утворюється системи мікрокапілярів або пор, які сполучаються між собою та з поверхнею. По цих порах випаровується цинк або у вільному стані, або у виді хлоридів. З утворенням цих мікрокапілярів та зростанням їхньої кількості полегшується доставка хрому в найвіддаленіші ділянки шару, завдяки проникненню газової фази по капілярах у глибину шару. Підвищення температури призводить до процесів карбідоутворення, сприяє збільшенню вмісту в шарі хрому та зменшенню в ньому концентрації цинку. Процес карбідоутворення для сталі 45 починається біля 800°C і при збільшенні температури до 950-1100°C супроводжується збільшенням кількості карбідної фази в шарі. Причому найактивніше ріст карбідів супроводжується поблизу

мікрокапілярів (активного джерела хрому). Процес карбідоутворення супроводжується одночасним процесом “заліковування” мікрокапілярів до повного їхнього зникнення. Завдяки даному методу, варіюючи температуру та час процесу хромування, можна в досить широких межах змінювати співвідношення карбідів і α -фази (від 62 до 98% карбідів і від 2 до 38% α -фази), що робить метод досить універсальним.

Для створення нових зміцнювальних покриттів для швидкозношуваних деталей машин [15] створено комплексний метод. Він полягає у попередньому хімічному покритті у хімічному розчині зміцнювальної поверхні способом хімічного осадження і наступного дифузійного хромування в порошковому середовищі у ретортах з плавким затвором при температурі 1050°C протягом 7 годин із годинною ізотермічною витримкою при 800°C.

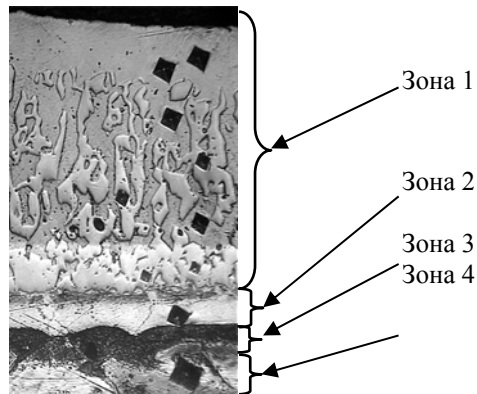


Рис. 1. Мікроструктура дифузійного шару на сталі 45 з попереднім Ni-Co-P покриттям. Режими: $T=1050^{\circ}\text{C}$, ізотермічна витримка – 1 год. при 800°C , хіміко-термічна обробка 7 год. при 1050°C

У результаті комплексної обробки отримано покриття такої будови (рис. 1): зовнішня робоча композитна зона 1 товщиною до 250 мкм та усередненою мікротвердістю 12 ГПа, яка складається з стовпчастих зерен карбіду хрому α -залізі (Cr_7C_3 та Cr_{23}C_6) (тверда фаза) та матриці (м'яка фаза) – твердого розчину хрому в α -залізі (отримано методом термо-ЕРС); гомогенна зона 2 твердого розчину хрому в α -залізі товщиною до 50 мкм; евтектоїдна зона 3; знеуглецьована зона 4 і серцевина.

При зміцненні деталей шляхом комплексного методу важливе значення має процес попереднього нанесення хімічного Ni-Co-P хімічного покриття для реалізації процесу т.зв. рідко-металевої фази.

Цей процес полягає у розплавленні хімічного покриття, що дозволяє значно прискорити процеси дифузії.

4. ВИСНОВКИ

Як видно з вищенаведених досліджень, розробки та дослідження відновлюваних покриттів, композитних дифузійних шарів підвищеної зносостійкості знаходяться на стадіях розробки та вдосконалення. У переважній більшості кінцевим результатом є утворення композитного шару з досить твердими включеннями значної крихкості (на базі хімічних сполук) і, в основному, малої товщини; технологія виготовлення деталей, зміцнених даним зносостійким композитним покриттям є досить складною та дорогою (наприклад, застосування лазерного оплавлення або створення композитних покриттів із дефіцитних складників та інші), що вимагає спеціального вартісного обладнання, висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Розробки комплексних покриттів за схемою попереднього хімічного покриття та наступного дифузійного хромовання дозволяють отримувати зміцнені композитні шари, які одночасно володіють як високою твердістю, так і потрібною для релаксації накопичувальних напружень пластичністю, завдяки чому значно підвищується зносостійкість поверхонь деталей, зміцнених даним методом.

1. Полевой С.Н. Упрочнение металлов / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1986. –320с. 2. Дроздов Ю.Н. Использование комбинированных технологических методов для повышения износостойкости деталей машин / Ю.Н. Дроздов, С.В. Усов. // Вестн. машиностр.– 1985.– №10.– С.9-11. 3. Бураковски Т. Трибологические свойства диффузионных слоёв на сталях / Т. Бураковски, Я. Сенаторки, Я. Тацитовски. // Трение, износ и смазочные материалы. Труды между. научн. конф. Том 1. М.: 1985, С.288-294. 4. Luchka M.V. The strenghtening and reduction of surfaces of sliding by gradient coating / Luchka M.V., Kindrachuk M.V., Mechalovich Y.N. // Problems of Tribology – 2000, №2. – p.80-81. 5. Microstructure and mechanical properties of nanocrystalline WC-12Co consolidated by spark plasma sintering. / Sivaprahasam, D., Chandrasekar, S.B., Sundaresan, R. [Електронний ресурс] // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Volume 25, Issue 2, March 2007.– Pages 144-152 – Режим доступу до журналу: <http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-33845907974&origin=inward&txGid=A2XmxgZbZ7kH5awS24j6oLE%3a6> 6. Лабунець В.Б. Працездатність зміцнених вуглецевих сталей в умовах тертя ковзання і віброударних навантажень / В.Б.Лабунець, Маджід Абдаллах, Дерек Іренуш. // Металознавство та обробка металів., №1-2, 1999р. –С.63-66. 7. Соколов А.Д. Защитные свойства и коррозионно-электрохимическое поведение вакуумных хромовых покрытий. / А.Д. Соколов, А.И. Костржицкий // Проблемы техники. – №1, 200. – С.55-67.

8. Юрков И.И. Износостойкость в условиях трения скольжения сталей, подвергнутых диффузионному насыщению хромом и титаном. / И.И.Юрков, Н.В.Степанова. // Трение и износ. №6., 1988. 9. Работоспособность сборных резцов с композиционным покрытием многогранных пластин. / Ю.М.Плескачевский, М.И. Михайлов, З.Я. Шабакеева // Трение и износ. – Том 25, №5; Сентябрь-октябрь 2004. – С.519-522. 10. Береснев В.М. Факторы, влияющие на формирование покрытий на основе TiN. / В.М. Береснев. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 4/2 (16).– 2005. – С.76-78. 11. Гурей Игор Владимирович. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей виробів параметрами імпульсної фрикційної обробки: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя. – Т., 2002. – 429 арк. – Бібліогр.: арк. 369-400. 12. Варюхно В.В. Износостойкие газотермические безникелевые покрытия / В.В. Варюхно, В.Д. Гулевец, Е.В. Харченко // Проблемы техники. – №3, – 2003. С.87-93. 13. Патент України № 40146 А від 16.01.2001. Композиційний сплав на основі заліза. Новіцький В.Г., Гаврилюк В.П., Тихонович В.І., Панасенко Д.Д. / Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України. Патент опубліковано 16.07.2001, бюл. № 6/2001. Овчинников Е.В. Триботехнические характеристики композиционных, многослойных покрытий / [Е.В. Овчинников, С.Д. Лецик, В.А. Струк и др.] // Трение и износ, март-апрель, 2000. – С.147-157. 14. Ляхович Л.С. Механізм формування карбидних покриттів на попередньо цинкованих сталях / Л.С. Ляхович, Ф.И. Пантелеенко, Л.Г.Ворошин и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, №6, 1979. – С.82-85. 15. Стецько А. С. Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: монографія. – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с.