

УДК 621.47.019

РОЗРОБКА СПОСОБУ КОМБІНОВАНОГО ЗМІЦНЕННЯ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

Скобло Т.С., д.т.н., проф, Науменко А.О., к.т.н., доцент
Сідашенко О.І., к.т.н., проф, Мартиненко Д.О.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка)

В статті розглянуто спосіб комбінованого зміцнення деталей, що полягає в активації поверхні, нанесенні хромованого покриття, механічній та послідуєчій плазмовій обробці за оптимальними параметрами на поверхні поршневого кільця, в результаті не змінюється геометрія робочого шару, заліковуються мікротріщини. На комплексно зміцненій поверхні підвищилась мікротвердість (у середньому на 7,3%), утворилася зона термічного впливу, яка за рахунок дифузії хрому підвищила зчеплення хромованого шару з основою.

Основними дефектами деталей машин є: знос внутрішніх поверхонь, короблення, тріщини, злами, а також зношування їх зовнішньої робочої поверхні під дією абразивного середовища. Також, передчасне зношування спостерігається при поверхневому зміцненні хромуванням. При цьому, виникає необхідність в розробці технології, що забезпечить підвищення зносостійкості таких деталей, які експлуатуються в умовах значних механічних навантажень в машинобудуванні, металургії.

Для цього використовують спосіб зміцнення, який включає передчасне осадження хрому та остаточне хромування з механічною дією на катодну плівку за рахунок контакту оброблюємої поверхні з хонінгувальним брусом, що виконує зворотно - поступове переміщення при обертанні оброблюваного виробу з примусовою прокачкою електроліту в міжелектродному зазорі. При цьому перед попереднім осадженням хонінгувальні бруски встановлюють з гарантованим зазором, який дорівнює 0,3-0,5 мм, а після нанесення покриття товщиною 8-200 мкм на 6-15 хв. виконують паузу у подачі технологічного току без відключення на протязі усього процесу.

Остаточне хромування проводять з початковим плавним підвищенням щільності струму зі швидкістю 4-6 А/с до моменту різкого змінення катодного потенціалу, після чого струм підвищують до робочої величини. Спосіб використовується для деталей, працюючих в умовах інтенсивних контактних силових навантажень [1].

Недоліком цього способу є достатньо складний технологічний процес, який не може бути використаний для таких прецезійних деталей, як компресійні поршневі кільця, зі складною профільною поверхнею. При зміцненні зчеплення поверхні хромуванням найкращі показники якості шару досягаються попередньою його активацією [2].

Для хромування використовують також спосіб підвищення зносостійкості покриттів з використанням активації поверхні голко фрезою [3]. Ця технологія використовується як для попереднього, так і подальшого в процесі нанесення покриттів газотермічним напиленням для зменшення пороутворення, та зміцнення зчеплення нанесеного шару з основою. При хромуванні профільної поверхні не можливо проводити додаткову обробку голкофрезою в процесі нанесення покриття, яка б забезпечила підвищення зчеплення його з основою.

Відомо й спосіб зміцнення виробів з високоміцного чавуну висококонцентрованим джерелом енергії - плазмовою обробкою, яку виконують під різними кутами 40-50°, струменем $I=400\text{A}$, при щільності потоку 25-40 Дж/см², та дистанції обробки $h=5\text{мм}$, при розмірі зони зміцнення - товщиною $\delta=2,5\text{мм}$ і шириною $a=10\text{мм}$ [4].

Метод має певні недоліки, тому, що зміцнення поверхні тонкостінних деталей з чавуну зі складним профілем поверхні буде призводити до втрати їх геометричної форми. Крім того, такі параметри обробки випаровують робочий шар та не можуть забезпечити ефективну роботу спряження.

В цьому випадку доцільно використовувати вакуумно-плазмовий метод, який дозволяє виконувати його разом попереднім хромуванням поверхні. Згідно нього обробку доцільно проводити з використанням 3-5 або 3-10 плазмових імпульсів тривалістю до 10мкс при щільності енергії плазмового потоку 25-40 Дж/см² та охолодженням поверхневого шару товщиною 20-100мкм при швидкості $10^6\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Недоліком способу зміцнення є неможливість його використання для тонкостінних деталей з чавуну. Як і інші способи він також не забезпечує формування якісної поверхні зміцнення.

Використання запропонованого способу проведено на поршневих кільцях з високоміцного чавуну (3,0% C; 2,5% Si; 1,0% Mn; 0,8% Mo; 0,3% Cu; 0,03% Mg). Хромовані компресійні поршневі кільця, з канавками для збереження змащення, виготовляли з високоміцного чавуну після чистової проточки, нарізання канавок, обробки радіусів - скруглення у замках та притирці в технологічній гільзі.

Перед хромуванням кільця промивали розчином № 646 або уайт-спіритом і протирали сухою ганчіркою.

Кільця збирали на оправку. Збірку кілець на оправку проводили в стакані зі спеціальним спрямовувачем, який забезпечував орієнтацію замків кілець в одну сторону. В замки встановлювали свинцеву пластину і за допомогою пневматичного пристрою кільця стискали оправкою. Після кварцування кільця повторно промивали розчином № 646 та протирали сухою ганчіркою.

Додатково активацію поверхні поршневого кільця проводили щіточною обробкою, яка дозволила замінити дробо - або аброзивоструйну попередню обробку поверхні для забезпечення необхідної її шорсткості. При цьому використовували високу щільність ворсу. Голки виготовляли зі сталевого пружинного дроту із вмістом вуглецю не більше 0,7% (Сталь 65Г) і твердістю

приблизно 2ГПа. Вибір діаметра голок залежить від необхідної шорхості поверхні та дорівнював 0,8 мм для одержання $R_a=9.5-10$ мкм. Технологічні можливості процесу обробки дозволили отримати необхідну шорсткість поверхні при швидкості обертання щітки 100-200 об/хв. (лінійна швидкість 47-94 м/хв.).

Після щіточної обробки та промивки оправку з кільцями завантажували до ванни хромування. У ванні хромування оправку з кільцями підігрівали 3-8 хв. (вмикали зворотній струм) для проходження анодного декапірування на протязі 2-х хв. при щільності току 32 А/дм^2 , потім установку перемикали на зворотній струм і на протязі 2-3 хв. подавали струм $45-50 \text{ А/дм}^2$. Протягом останньої хвилини струм поступово знижували до величини – робочого $D_k=30-35 \text{ А/дм}^2$ з часом анодної обробки – 1хв. Для забезпечення покращення механічної оброблюваності та одержання шару хромування товщиною до 100 мкм. процес проводили в електроліті складу, г/л:

– хромовий ангідрид 180-250

– сірчана кислота 1,8-2,5

– хром трьохвалентний 2,5-5,0

Температура обробки складала $55-60^\circ\text{C}$

Після хромування проводили заполіровку задирів, зняття напливів хрому з торців, розточку внутрішнього діаметру, зняття фасок, калібровку замків та притирку робочої поверхні у технологічній гільзі.

Після такої обробки оправку з кільцями промивали, потім демонтували і розміщували у сушильній шафі. В структурі поверхні формувалися мікротріщини (рис. 1)

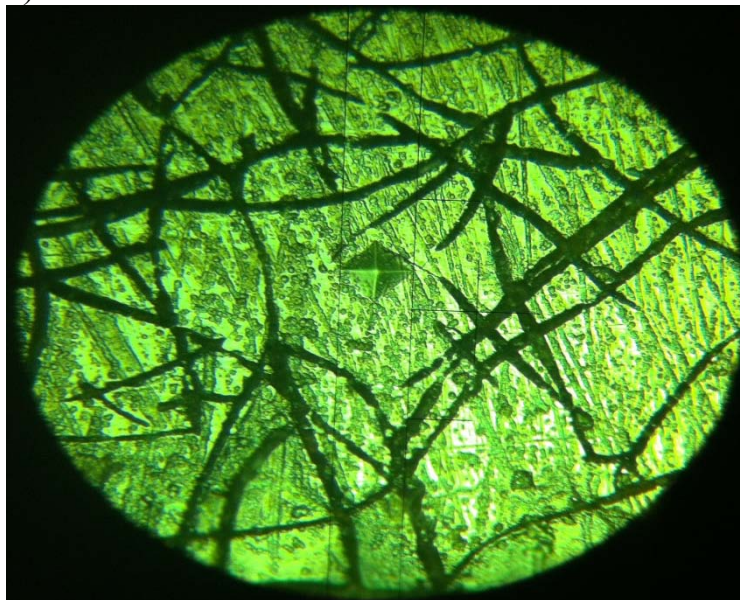


Рисунок 1 - Мікротріщини в структурі поверхні

Для укріплення зміцнених хромуванням зон, підвищення зчеплення та виділення водню виконували додаткову обробку плазмою короткими (2-5мкс) імпульсами для забезпечення швидкого розплавлення та послідуочого

надшвидкісного ($\sim 10^{-6}$ с) охолодження поверхневого шару товщиною 20-100 мкм.

Найбільший ефект досягається, коли поршневе кільце обробляють п'ятьма плазмовими імпульсами (азотиста плазма) продовженням не більше 5 мкс при загальній енергії плазмового потоку 100-150 кДж/см².

При обробці поршневого кільця з хромованою поверхнею вказаної тривалості та щільністю енергії імпульсного потоку відбувається ефективна дифузія іонів плазми в глибину попередньо нанесеного хромового шару та послідує надшвидкісне його охолодження. Внаслідок того, що енергія передається в продовж дуже короткого відрізка часу, то відбувається його підплавлення з одночасним впровадженням потоку іонів (азоту) в матеріал мішені при градієнті температур ~ 108 К/м. Внаслідок такого режиму вдається досягнути додаткового зміцнення поверхневого шару поршневого кільця, забезпечення заліковування тріщин (рис.2), підвищення його твердості та зносостійкості. Обробка також сприяє видаленню водню.

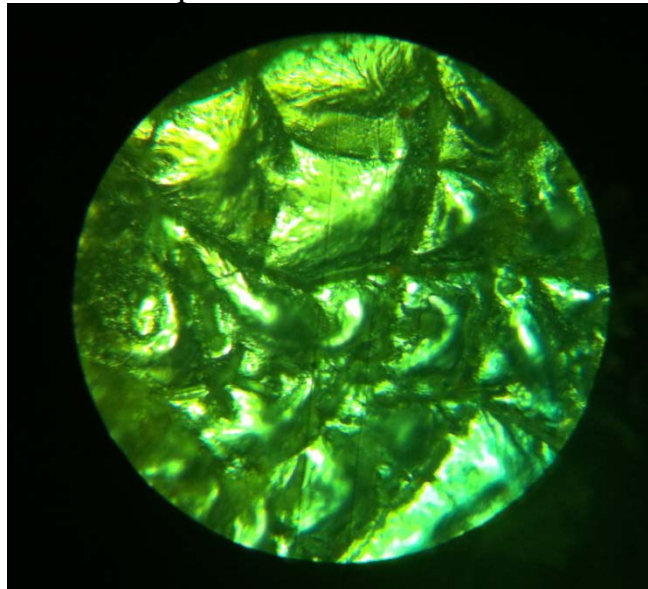


Рисунок 2 - Мікроструктура поверхневого шару поршневого кільця

При зменшенні тривалості імпульсів або щільності енергії не відбувається підплавлення поверхневого шару, а збільшення щільності енергії веде до росту шорсткості поверхні, за рахунок часткового випаровування хромового покриття.

При кількості плазмових імпульсів більше, ніж 5 не відбувається значного підвищення твердості оброблюваного матеріалу, а з'являється порушення геометрії поверхні. Якщо кількість імпульсів 1, то потрібний ефект зміцнення в повній мірі не досягається, не забезпечується дифузія хрому у перехідну зону.

Аналіз різних варіантів зміцнення наведено у табл. 1, та на рис. 3-5.

Із аналізу мікротвердості та структури по 20 вимірам (табл. 1 та рис.1,3) зміцненого шару видно, що при вихідному варіанті (варіант 1) хромоване покриття характеризується наявністю тріщин та більш низькою мікротвердістю.

Таблиця 1 - Вплив обробок на мікротвердість зміцненого шару

| № | Спосіб нанесення покриття | Значення мікротвердості, Н-50 | | |
|---|--|-------------------------------|---|-----------------------|
| | | Зміцнений робочий шар | Поблизу границі (відстань від зміцненого шару 10-15мкм) | Коефіцієнт зношування |
| 1 | Вихідний (електролітичне хромування) | 963 | 508 | 1,0 |
| 2 | Плазмова обробка | 1007 | 529 | 1,2 |
| 3 | Електролітичне хромування + плазмова обробка | 1014 | 693 | 0,87 |

Примітка: дані таблиці - середнє значення показників

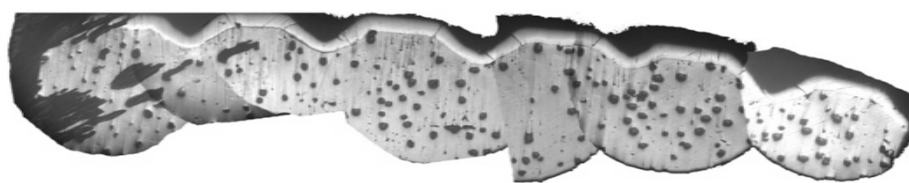


Рисунок 3 - Структура зміцненого шару, x50

Обробка тільки плазмою (варіант 2) не формує однорідного за товщиною зміцнюючого шару (рис. 4) із-за низької температури плавлення чавуну (відбувається випаровування металу).

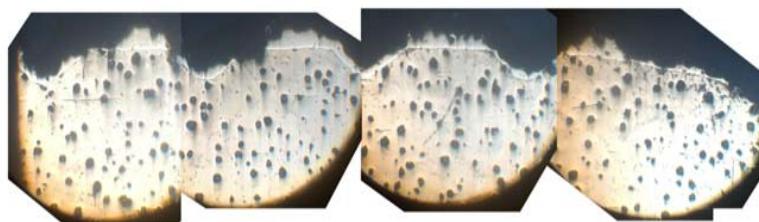


Рисунок 4 - Неоднорідність зміцнюючого шару тільки при плазмовій обробці x50

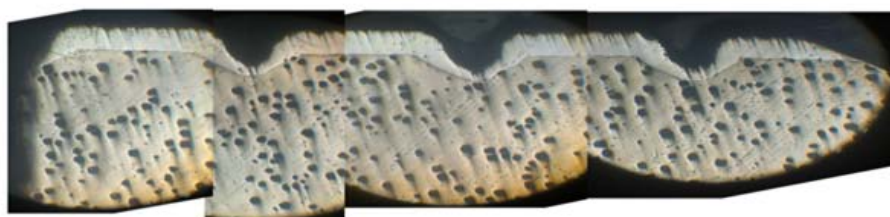


Рисунок 5 – Структура зміцненого шару при сумісній обробці хромуванням та плазмовою обробкою, x70

Комбінована обробка хромування + плазмова обробка (варіант 3) показала, що при її використанні заліковується більшість тріщин (по місту тріщин формується дендрідна структура, див. рис.2), знижується вміст водню, за рахунок чого і підвищується рівень мікротвердості хромованого шару. Одночасно підвищується зчеплення хромованого шару з $\sigma_B=694$ до

$\sigma_B=826\text{Н/мм}^2$, тому що після плазмової обробки за рахунок дифузії хрому в зону термічного впливу його концентрація досягає 0,27%. При цьому, окрім дифузії компонентів в цій зоні спостерігали й структурні перетворення в графіті. При кристалізації кулько-подібний графіт має характерну структуру: променеве утворення з центру зерна. При циклічній імпульсній обробці плазмою з використанням наведених параметрів спостерігали зміни в будові графіту. Чим ближче частинки знаходились до зони впливу плазмою, тим більш інтенсивно виявлялися зміни в будові графіту. Так, включення графіту, що повністю попадали під вплив плазми, набували іншої будови й спостерігалось виникнення п'яти і шестикутників (рис.6). Математичне моделювання структури такого графіту, згідно методики [4], показало, що 50% цієї фази стало більш щільним, а решта 50% стала більш розрідженим. У тих випадках, коли графіт частково підпадав під обробку плазмою, то його будова зберігалася, але в ній частково відбувалися перетворення, що були розглянуті.

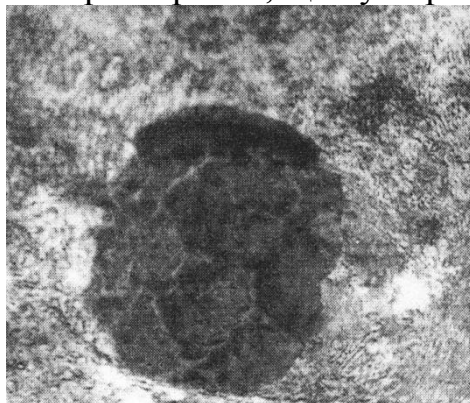


Рисунок 6 – Структура графіту після плазмової обробки

В умовах лабораторії виконано порівняльний аналіз зносостійкості варіантів зміцнення, що досліджувались (табл. 2). Досліджували знос сполучення диск-колодка (зразок від поршневого кільця). Колодки були вирізані з поршневих кілець, розглянутих варіантів зміцнення. Диски було виготовлено з матеріалу гільзи циліндрів двигуна 10Д100 (сірий чавун).

Таблиця 2 – Зносостійкість досліджуваних сполучень*

| № | Спосіб зміцнення | Знос диску, 10^{-4} г | Знос кільця, 10^{-4} г | Коефіцієнт тертя |
|---|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 | Електролітичне хромування | 26,5 | 3,0 | 0,084 |
| 2 | Плазмова обробка | 32,0 | 4,0 | 0,088 |
| 3 | Хромування + плазмова обробка | 24,0 | 2,5 | 0,074 |

* Данні таблиці – середні значення за результатом 5-7 випробувань

З приведених даних таблиці видно, що комплексне зміцнення зменшує знос не тільки поршневого кільця, але й деталі, що працює в сполученні, а також зменшує коефіцієнт тертя на 12%.

За рахунок комплексної обробки зміцнення, яка полягає в активації поверхні, нанесення хромованого покриття, механічної та послідуночої плазмової

обробки за оптимальними параметрами на поверхні поршневого кільця не змінюється геометрія робочого шару, заліковуються мікротріщини. На комплексно зміцненій поверхні підвищилась його мікротвердість (у середньому на 7,3%), утворилася зона термічного впливу, яка за рахунок дифузії хрому підвищила зчеплення хромованого шару з основою. Зносостійкість комплексного зміцнення сприяла підвищенню зносостійкості на 12-15%. Зменшення коефіцієнта зношування при електрохімічному хромуванні + плазмова обробка відбувається за рахунок зменшення викришування робочого шару.

Таким чином, розроблений спосіб зміцнення забезпечує видалення водню, підвищення твердості, міцності зчеплення хромового шару, та сприяє підвищенню зносостійкості зміцнених деталей.

Список літератури:

1. Патент РФ №2175032
2. Патент України №44694
3. Патент України №8802
4. Скобло Т.С. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры (Т.С. Скобло, Е.Л. Белкин, О.Ю. Клочко), Заводская лаборатория, 2012, №6, Т78, с. 35-42

Аннотация

Разработка способа комбинированного упрочнения поршневых колец

Скобло Т.С., Науменко А.А., Сидашенко А.И., Мартыненко Д.А.

В статье рассмотрен способ комбинированного упрочнения деталей, заключающийся в активации поверхности, нанесении хромированного покрытия, механической и последующей плазменной обработке с оптимальными параметрами на поверхности поршневого кольца, в результате не изменяется геометрия рабочего слоя, залечиваются микротрещины. На комплексно упрочнённой поверхности повысилась микротвёрдость (в среднем на 7,3%), образовалась зона термического влияния, которая за счет диффузии хрома повысила сцепление хромированного слоя с основой.

Abstract

Development of a method of piston rings combined hardening

Skoblo T.S., Naumenko A.A., Sidorenko A.I., Martynenko D.A.

The article describes the method of combined strengthening items, we conclude in surface activation, applying chrome coating, mechanical and subsequent plasma treatment with optimal options on the surface of the piston ring, the result does not change geometry of the working layer, healed microcracks. On complex hardened surface microhardness increased (on average by 7.3%), education familiarize heat-affected zone, which is due to the diffusion of chromium increased grip chrome layer to the substrate.