

<<НАДІЙНІСТЬ>>

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ
ТЕПЛОВОЗІВ**

Зміст

	Стор.
Вступ	3
1. Актуальність розробки	4
1.1 Умови роботи поршневих кілець деталей циліндро-поршневої групи.	4
1.2 Методи зміцнення поршневих кілець	5
1.3 Лазерний метод зміцнення чавуну	7
2. Матеріал та методика досліджень	9
2.1. Матеріал дослідження	9
2.2 Методика лазерної обробки	10
2.3 Визначення твердості та мікротвердості покриттів	12
2.4 Металографічні, електрографічні та рентгенівські дослідження .	13
2.5 Методика випробувань на тертя і знос	16
3. Результати дослідження та їх обговорення	17
3.1 Дослідження структури і властивостей чавуну після різних режимів лазерної обробки	17
3.2 Вплив експлуатаційного нагріву на знос, структуру і властивості зміцнених шарів	20
Висновки	24
Список використаної літератури	26

Вступ

Деталі циліндро-поршневої групи відносяться до найбільш відповідальних, які визначають надійність тепловозів в цілому. Збільшення питомої потужності дизелів супроводжується посиленням умов експлуатації.

У комплексі проблем підвищення надійності й довговічності машин особливе місце займає питання зносостійкості деталей. Недостатня зносостійкість матеріалів обмежує зростання продуктивності машин і термінів їх експлуатації, збільшує витрати на ремонт і запасні частини. Далеко не завжди необхідний комплекс властивостей виробів може бути сформований традиційними методами термічної і хімічної обробок [1-2].

В даний час однією з проблем машинобудування є підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених з високоміцного чавуну.

Широко використовуються в практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому в ряді випадків не досить добре задовольняють вимогам, що пред'являються до поршневих кілець. Маючи твердість H900-1000, хромові покриття забезпечують стійкість проти абразивного зношування, володіють високою адгезійною міцністю, відносно низьким коефіцієнтом тертя, задовільною припрацьовуваністю та маслопоглинанням, високою теплопровідністю.

Однак пористий шар хрому товщиною 40-50 мкм за кілька сот годин спрацьовується, і тоді починає зношуватися тверда основа. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя і зношування при високих температурах, що призводить до знеміцнення; в певних умовах він розташований до вологої корозії.

У зв'язку з цим розробка високоефективних покриттів поршневих кілець представляється досить важливою і актуальною.

1 Актуальність розробки

1.1. Умови роботи поршневих кілець деталей циліндро-поршневої групи

Поршневі кільця деталей циліндро-поршневої групи працюють в напружених умовах, які характеризуються високими температурами (до 1900°C горючої суміші, до 600°C на поверхні гільзи і до 450°C на спідниці поршня), тисками (до 15 МПа) і вкрай несприятливим характером тертя від рідинного до сухого при зворотньо-поступальному русі.

Поршневі кільця циліндрів двигунів, виготовлені з ливарних чавунів, за наявності електроліту складають один з одним гальванічні пари. Пари утворюються і між структурними складовими чавуну – перлітом, графітом, фосфідною евтектикою, а всередині перліту – між феритом і цементитом. Крім того, внаслідок нерівномірності температури в областях із більш високою температурою виникають анодні ділянки. Спалювання у циліндрах дизелів палива з підвищеним вмістом сірки збільшує інтенсивність зношування поршневих кілець.



Рисунок 1.1 – Поршневі кільця.

1.2 Методи зміцнення поршневих кілець

З метою поліпшення експлуатаційної надійності та підвищення терміну служби матеріалу поршневих кілець, особливо для двигунів внутрішнього згоряння малої і великої потужності, у багатьох випадках обробляються, щоб підвищити зносостійкість і поліпшити збереження пружності. Але зі збільшенням зносостійкості погіршуються деякі його характеристики зносу і, насамперед, припрацьовуваність. Таким чином, якщо від кільця з високою зносостійкістю потрібна хороша припрацьовуваність, то відносно властивостей матеріалу приходять до суперечливих вимог. Тому взаємне пристосування робочих поверхонь кільця і циліндра, може стати небезпечним для названих деталей.

Винятково високі питомі навантаження, які виникають при точному зіткненні (переважно на початку припрацьовуваності) між робочими поверхнями, а також підвищений витік газів на ущільнюючих поверхнях, який триває до утворення дотику по замкнутій лінії, не дають можливості з самого початку вести експлуатацію з повним навантаженням.

Відомі в даний час способи поверхневої обробки поршневих кілець для поліпшення процесу припрацьовуваності досить численні: розпушення робочих поверхонь для утримування мастила, травлення, оксидні покриття, фосфатування, сульфідкування, лудіння, кадмування, оміднення та ін.

Високу зносостійкість мають хромові і керамічні покриття, покриття з молібдену, окислів алюмінію та азоту, нітриду титану, азотування карбонітрації.

У той же час основним способом зміцнення є хромування товщиною 0,15-0,5 мм. Хромове покриття має ряд переваг: висока твердість (HV 950-1100) низька схильність до заїдання, малий коефіцієнт тертя хрому по чавуну і сталі, висока корозійна стійкість [4].

Однак, разом з перевагами, такому покриттю притаманні недоліки: важко припрацьовується, має низьку теплостійкість, через що при роботі відбувається

його розтріскування, погано утримує на своїй поверхні масло. Крім того, електролітичне хромування не стабільне через виснаження розчину і екологічно небезпечне [5].

Відомо, що застосування карбонітрації для обробки деталей забезпечує підвищення втомної міцності на 50-80 %, різке підвищення опору зносу в порівнянні з цементацією, нітроцементацією і азотуванням.

Поставлена задача, в окремих випадках, вирішується тим, що зміцнення поверхонь сталевих поршневих кілець, що включає карбонітрацію і нанесення покриття нітриду титану. Карбонітрацію відбувається при розкладанні карбаміду протягом 1 години в інтервалі температур 540-580 °C в розплаві солей або в газовому середовищі. Після чого проводять сульфидування в електролітній плазмі [8].

Обробка сталі при карбонітрації дає на поверхні шар, що має гексагональну структуру, притаманну нітриду заліза Fe_3N і карбіду заліза Fe_3C - карбонітридним фаза $Fe_3(NC)$. Глибина шару - фази $Fe_3(NC)$ залежить від температури процесу та тривалості насичення. Отримані на поверхні нітридні фази навіть при відсутності мастила не виявляють схильності до схоплювання, на відміну від азотування, через знижену крихкість ϵ - фази азотованого шару. Крім того, азотований шар значно поступається карбонітрированому шару по припрацьовуваності та зносостійкості [4].

В якості сталевих поршневих кілець використовують сталеві маслоз'ємні поршневі кільця зі сталі 20X13. Спочатку проводять карбонітрацію сталевих маслоз'ємних поршневих кілець при розкладанні карбаміду в розплаві солей або в газовому середовищі в інтервалі температур 540-580 °C протягом 1 години. Глибина карбонітридного шару складає 12-15 мкм при твердості 1158-1513 HV [8].

Для усунення викривлення маслоз'ємного поршневого кільця внаслідок температурного впливу при карбонітрації, а також дифузійного насичення поверхні вуглецем і азотом потім здійснюють алмазне притирання в гільзі зі зняттям карбонітридного шару 3-6 мкм [9].

Для зміцнення поверхні та підвищення зносостійкості подальше нанесення покриття нітриду титану здійснюють шляхом іонної імплантації нітридів титану TiN_4 на поверхню сталевих поршневих кілець. Перевагу іонної імплантації обумовлено вельми низькими температурами процесу (540-560 °C), і високою твердістю нітриду титану, відсутністю жолоблення виробів, що вельми важливо для ажурних маслос'ємних поршневих кілець і необхідністю в доводочних операціях механічною обробкою.

Для поліпшення припрацьовуваності поршневих кілець і підвищення адгезії покриття до основи, виконують сульфідкування в електролітній плазмі, при якому кожне поршневе кільце підключається до негативного полюса джерела постійного струму і занурюється у ванну з водяним розчином проточного електроліту (10–15 % $Na_2S_2O_3$ + 14–16 % $(NH_4)_2SO_4$), підключеному до позитивного джерела струму [10].

При подачі напруги близько 100-160 В формується плазмова оболонка, яка забезпечує утворення активних іонів сірки і прискорену їх дифузію. Короткий час обробки при сульфідванні пояснюється діями розряду плазми, а також, іонами високих енергій, що активно взаємодіють з поверхнею.

1.3 Лазерний метод зміцнення чавуну

Лазерна обробка має цілу низку переваг у порівнянні з іншими методами поверхневої обробки [3-6].

- висока продуктивність;
- мінімальне викривлення і поліпшення якості продукції, що випускається;
- можливість здійснення селективного гарту;
- можливість порівняно легко обробляти ділянки поверхні будь-якого профілю і висока однорідність зміцнених шарів.

Широкими можливостями для поверхневого зміцнення деталей машин і інструменту мають потужні газові CO_2 - лазери безперервної дії, що дозволяють в широких межах змінювати потужність і час опромінення [5]. Безперервний

лазер доцільно використовувати тільки в тих випадках, коли застосування інших методів поверхневого зміцнення пов'язано з певними труднощами або взагалі неможливо.



Рисунок 1.2 – Лазерна обробка.

Зміну властивостей поверхневих шарів матеріалів за допомогою лазерного випромінювання можна одержувати в результаті швидкісного термічного циклу, або насиченні поверхні легуючими елементами [8].

Ці елементи, розчинившись в основному металі, утворюють новий шар з особливими властивостями.

На характер формування зміцненого шару великий вплив робить розподіл енергії в лазерному промені. Для збільшення ефективності лазерного зміцнення на оброблювані поверхні наносять спеціальні покриття, які добре поглинають енергію випромінювання.

У роботах [8, 9] рекомендують застосовувати лазерне термічне зміцнення для підвищення зносостійкості чавунних поршнів, доріжок підшипників кочення, галтелів, колінчатих валів і інших деталей.

Останнім часом лазерній термічній обробці піддають феритний ковкий чавун з низькою вихідною твердістю. Для створення зміцненого шару товщиною 0,25-0,63 мм при лазерній обробці чавунних гільз і втулок циліндрів дизелів необхідно 15 хвилин. Надалі передбачається скоротити тривалість обробки в 1,5 рази.

Лазерну обробку застосовують для деталей паливних насосів дизелів, шийок і виступів кулачкових валів, що труться, деталей гальмівних циліндрів

[4]. Її використовують для зміцнення різних валів, досягаючи при цьому твердості HRC 60-64 і товщини зміцненого шару 0,2-0,5 мм, а також для наскрізного зміцнення малогабаритних деталей без викривлення, для зміцнення чавунних станин токарних верстатів без оплавлення поверхні і з оплавленням, що супроводжується утворенням на поверхні білого чавуну [10].

Порівняльні дослідження чавунів, оброблених імпульсним і безперервним лазером, показали [8], що імпульсна обробка з оплавленням ферритного і перлітного чавунів призводить до виникнення в поверхневому шарі значних напружень, що розтягують та релаксують з утворенням тріщин. Опромінення без оплавлення створює на поверхні значні стискаючі напруження. Безперервне випромінювання викликає появу на поверхні розтягуючих напружень, які мають більш високі значення ніж при обробці без оплавлення. Для запобігання утворенню тріщин перлітного ковкого чавуну рекомендується обробка з меншими швидкостями нагрівання й охолодження, що може бути досягнуто при одночасному зменшенні щільності потужності випромінювання і швидкості переміщення променя.

Таким чином, для впровадження лазерної термічної обробки для кожної групи деталей необхідно розробляти спеціальну технологічну оснастку і режими обробки.

Висока вартість цього процесу обумовлює економічну ефективність і доцільність обробки невеликих, але відповідальних ділянок деталей.

2. Матеріал та методика досліджень

2.1. Матеріал дослідження

В машинах спеціального призначення велика увага приділяється довговічності деталей циліндро-поршневої групи, зокрема поршневих кілець.

Досліджувалися поршневі кільця виконані, з сірого та високоміцного чавуну, хімічний склад яких наведено в таблиці 2.1.

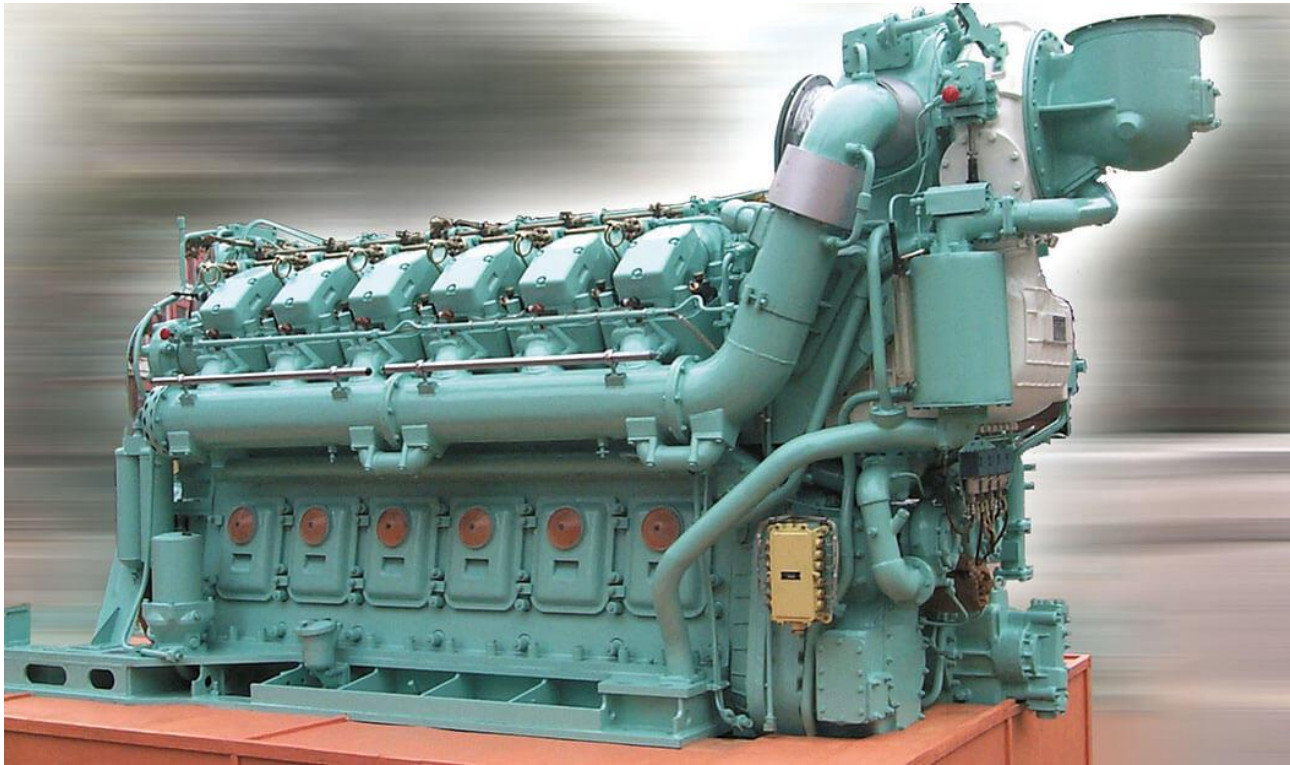


Рисунок 2.1 – двигун внутрішнього згоряння тепловоза

Таблиця 2.1

Хімічний склад сірого і високоміцного чавуну

чавун	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg	P
СЧ 25	3,2- 3,4	1,4- 2,2	0,7- 1,0	–	–	–	–	–	≤0,2
ВЧ 45	3,3- 3,8	1,9- 2,9	0,3- 0,7	0,1	1,2- 1,5	-	-	0,03- 0,1	≤0,1

2.2 Методика лазерної обробки

Лазерна обробка чавуну здійснювалася з використанням безперервного випромінювання CO₂ - лазера ЛТ-1. Параметри лазерної обробки вибирали з

метою отримання оптимальних значень твердості, глибини і структури загартованого шару. ЛТО на поверхнях деталей, що зміцнювались виконували у вигляді системи концентричних кіл.

Для збільшення поглинальної здатності оброблюваної поверхні зразків їх піддавали чорнінню різними способами: оксидуванню і фосфатуванню при обробці безперервним випромінюванням.

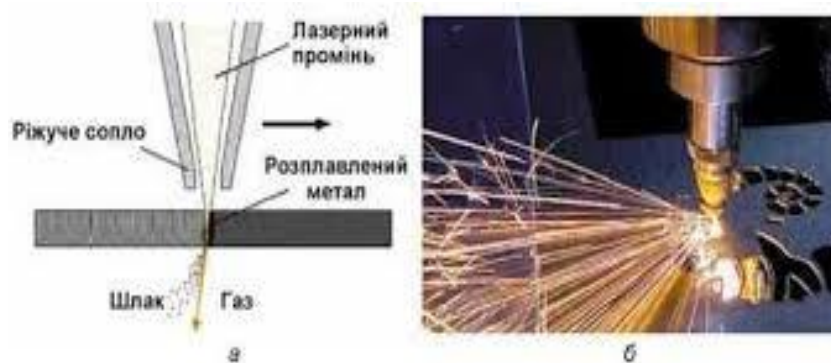


Рисунок 2.2 – Лазерна обробка металу:

а – схема, б – процес обробки.

Режими опромінення вказані для фосфатованих зразків в табл. 2.2, для оксидованих- в табл. 2.3. Обрані режими дозволяють досліджувати вплив на формування і властивості шару важливих параметрів опромінення:

- потужності випромінювання W при постійній швидкості опромінення;
- швидкості опромінення при заїжджій потужності випромінювання;
- щільності потужності випромінювання W_p .

Щільність потужності при $W_p = \frac{W}{S}$ при $V_{обл} = const$ може варіюватися або зміною потужності випромінювання, або зміною і розфокусування ΔF , Тобто площі плями опромінення. Перший спосіб використаний для оксидованих зразків, другий - для фосфатованих.

Таблиця 2.2

Режими опромінення для фосфатованих зразків

W , кВт	ΔF , мм	$V_{\text{облучения}}$, см / с		
4,5	43	1,25	2,5	5
4,5	54	1,25	2,5	5
4,5	64	1,25	2,5	5
3,0	43	1,25	2,5	5
3,0	54	1,25	2,5	5
3,0	64	1,25	2,5	5

Таблиця 2.3

Режими опромінення для оксидованих зразків

Потужність випромінювання, W , кВт	розфокусування ΔF , мм	Швидкість опромінення для кожної потужності
1 2 3 4	43	1,25; 2,5; 3

2.3 Визначення твердості і мікротвердості покриттів

Для виявлення змін в поверхневих шарах, а також контролю якості покриття проводили виміри твердості. Цей метод дає можливість проведення 100% контролю деталей, випробування не є руйнівними, заміри можна проводити безпосередньо на деталі. Для дослідження застосовували метод Роквелла, який, як правило, використовується для вивчення термозміцненого матеріалу.

Для визначення твердості окремих частинок, а також її анізотропії в різних ділянках покриття в роботі використовували метод виміру мікротвердості.

При виборі навантаження керувалися тим, що мінімальна товщина покриття повинна перевищувати глибину відбитка не більше, ніж у 10 разів. Якщо товщина покриття невідома, то проводили кілька вимірів, послідовно збільшуючи навантаження. Якщо матеріал основного металу не впливає на результат вимірювань, то отримані значення мікротвердості покриття будуть близькі.

Визначення глибини наклепаного шару поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3. Сутність методики полягає в тому, що вимірювання мікротвердості поверхні тертя проводиться при різних навантаженнях на алмазну піраміду від 0,02 НV до 2 НV, при цьому розрахунковим шляхом визначається глибина впровадження піраміди h :

$$h = \frac{z}{7}, \quad (2.1)$$

де z – довжина діагоналі відбитка алмазної піраміди.

2.4 Металографічні, електронномікроскопічні та рентгенівські дослідження

Мікроструктура досліджуваних матеріалів, а також поверхонь тертя роликів і колодочок вивчали з допомогою портативного металографічного мікроскопу Альтамі МЕТ 1 (рис. 2.4).

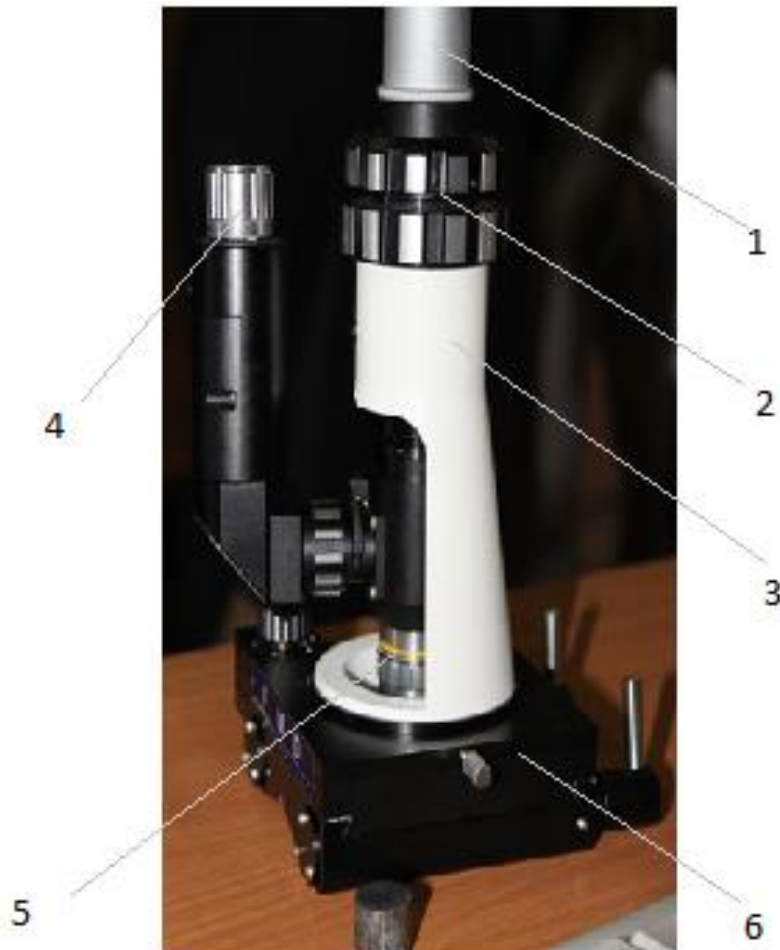


Рисунок 2.4 – Загальний вид металографічного мікроскопу
Альтамі MET I: 1 – окуляр; 2 – підводка фокусної відстані;
3 – тубус; 4 – механізм регулювання;
5 – об'єктив; 6 – магнітний столик.

Він використовується для дослідження мікроструктури металів і сплавів у відбитому світлі в світловому поліє при прямому освітленні.

Один із необхідних аксесуарів мікроскопу вказаної марки - це цифровий фотоапарат або камера для захвату зображення досліджуємих зразків. Наявність камери дає змогу отримувати цифрові знімки високої якості, та відображати їх на екрані комп'ютера, оброблювати й оцінювати з допомогою програмного забезпечення.

Програмне забезпечення AltamiStudio дозволяє:

-керувати процесом захоплення зображення; керувати налаштуваннями камери (яrkість, гама, насиченість, експозиція), а також підсилювати доступні роздільні здатності камери;

-виконувати різного роду вимірювання як в статичному зображенні, так і з відео-рядом з камери в режимі реального часу.

- оперативно оцінювати лінійні розміри елементів зображення з допомогою спеціального інструменту – лінійки. Лінійка є елементом інтерфейсу вікна й має вигляд з'єднаних між собою вертикальну та горизонтальну лінійки, на яких відображається шкала, яка відповідає масштабу поточного зображення;

- відображати результати поточних вимірювань в окремому списку, з можливістю його редагування;

- зберігати всі налаштування камери та інтерфейсу програмного забезпечення в окремий файл.

Збільшення мікроскопу:

50^x; 100^x; 500^x; 2000^x.

Фокусування:

- коаксіальні гвинти грубого й точного фокусування з регулюванням жорсткості ходу;

- мінімальний крок 0,002 мм.

Освітлення:

- галогенна лампа 30 Вт, 6В;

- головне регулювання яскравості освітлення;

- регулювання положення лампи в трьох напрямках;

- регулюємі апертурні і польова діафрагми.

Металографічні дослідження проводились також на оптичному мікроскопі МІМ-8 та на електронному мікроскопі. Для отримання інформації про процентний склад різних структурних складових було використано метод кількісної металографії. Кількість тієї чи іншої складової в структурі сталі підраховувалось методом планіметрування площі, яку вони займають.

2.5 Методика випробувань на тертя і знос

Випробування нових матеріалів і технологій в умовах реального виробництва пов'язані із значними витратами матеріальних ресурсів і часу. Крім того, складно повною мірою оцінити вплив тих чи інших факторів на процеси тертя і зношування в реальних умовах. Тому для оцінки ефективності застосування матеріалів, методів їх обробки, конструктивних змін деталей та інших заходів проводили лабораторні та стендові випробування, що моделюють максимальне наближення до реальних умов експлуатації. Основними критеріями оцінки працездатності матеріалів для деталей об'ємного гідроприводу та ефективності їх поверхневої обробки є триботехнічні характеристики .

У зв'язку з цим для проведення роботи обрані методи випробувань, що дозволяють моделювати основні процеси тертя і зносу реальних деталей.

Випробування проводилися на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння випробовуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційним властивостям і властивостями в процесі припрацьовування за схемою «ролик-колодочка» (рис. 2.5).

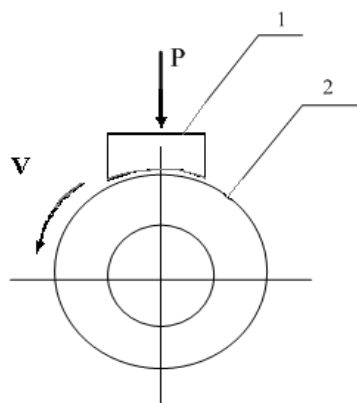


Рисунок – 2.5 Схема «ролик-колодочка»

1 – колодочка; 2 – ролик.

3 Результати дослідження та їх обговорення

3.1 Дослідження структури і властивості чавуну після лазерної обробки

У дослідженому діапазоні режимів лазерної обробки в опромінену чавуні утворюються шари з виходом на поверхню зон загартованих з розплавленого стану - шари з зоною оплавлення і шари з виходом на поверхню зон, загартованих від температур, менших температури солідусу, металевої основи - шари з зоною гарту. Поверхня чавуну оплавлюється на всій площі контакту з променем при швидкості опромінення 5,4 мм/с, частково - при швидкостях опромінення 6,5; 7,6 мм/с; при швидкості ж 11 мм/с спостерігається лише гарт поверхневого шару. Глибина шару при цьому зменшується зі збільшенням швидкості опромінення по параболічному закону (рис. 3.1). При швидкості опромінення 11 мм/с вона становить 0,5 мм, При 5,4 мм/с - 1,3 мм.

Структура оплавлених зон неоднорідна за обсягом лінії опромінення і в загальному випадку побудована трьома структурними елементами: загартованим з розплаву білим чавуном (рис. 3.1.2), загартованої з розплаву високовуглецевого сталю (рис. 3.2, б, в), графітом. Неоднорідність обумовлена короткочасністю лазерного впливу, що не дозволяє отримувати однорідний за складом рідкий розчин в розплавленому гетерогенному обсязі. Сприяє цьому і неодночасне розплавлення що знаходиться при кожній даній ізотермі ділянок гетерогенної структури.

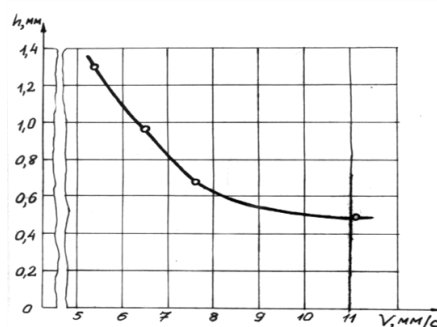
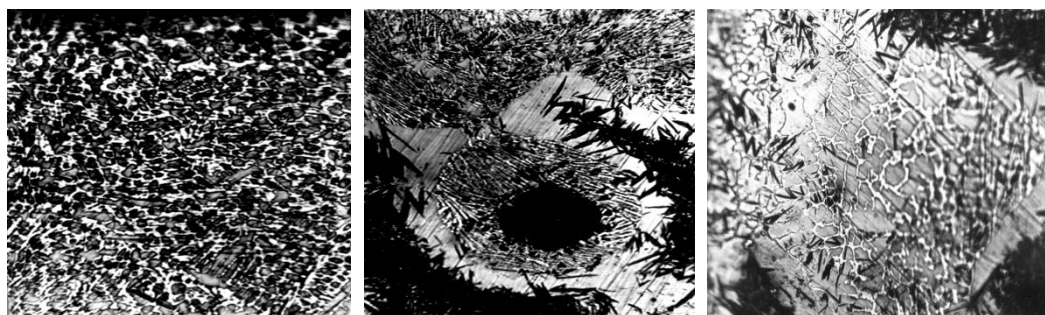


Рисунок 3.1 - Вплив швидкості лазерного опромінення на глибину шару

Структура кожної складової, її частка і локалізація в оплавленій зоні залежать від режиму опромінення. При зменшенні швидкості опромінення зростає частка структури білого чавуну з доєвтектичною будовою і зменшується частка ділянок зі структурою високовуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю. Рентгенографічно в оплавлених зонах реєструються аустенит, мартенсит і цементит в різних кількісних співвідношеннях. Кількість аустеніту і цементиту збільшується зі зменшенням швидкості опромінення.

Мікротвердість зони оплавлення відповідно до її структури дуже неоднорідна. Найбільшу твердість мають ділянки з квазієвтектичною структурою (HV 9500 - 8500 МПа), найменшу - аустеніт (HV 5700 - 4200 МПа). Характерно, що твердість аустеніту досить висока, очевидно, внаслідок сильного наклепу при швидкісній кристалізації і фазових перетвореннях. Мікротвердість мартенсито-аустенітної структури становить HV 8500 - 6300 і намічається тенденція до зменшення її зі зниженням швидкості опромінення. Це може бути пов'язано як зі збільшенням частки аустеніту в ній, так і з деяким відпустком мартенситу.



а

б

Рисунок 3.2 – Структурні елементи зони оплавлення:
а, б – ділянки білого чавуну; $\times 400$

У зонах шару, загартованих від температур, менших за температури солідуса металевої основи, але великих евтектичних температур, спостерігається часткове оплавлення матриці навколо графіту і утворення

структури загартованого білого чавуну, високої мікротвердості (рис. 3.2). У зонах, загартованих від температур, менших евтектичною, вплив графіту може позначитися тільки через дифузію вуглецю в аустеніт. У зв'язку з короткочасністю лазерного впливу, відстані на які дифундує вуглець з графіту, малі і окремі обсяги матриці додатково не насичуються вуглецем. Отже, графіт не повинен впливати на її структуру і властивості при загартуванні. У зоні гарту, в залежності від температури нагріву, можуть утворюватися при охолодженні структури голчастого мартенситу або бесструктурного мартенситу. HV 8500-7300 МПа.

Швидше за все, що високе легування аустеніту в ліквацийній зоні і насиченість вуглецем знижує його нижче кімнатних температур. У високотемпературній зоні гарту відбувається розплавлення матриці близько цементиту. Наведений аналіз структури і властивостей опромінених шарів чавуну показує, що і в разі оплавлення, і в разі гарту відбувається істотне зміцнення поверхневого шару.

Мікротвердість неопроміненого чавуну складає HV 3600-2200 МПа.

Лазерна обробка не призводить до істотної зміни чистоти і конфігурації поверхні поршневого кільця (рис. 3.3).

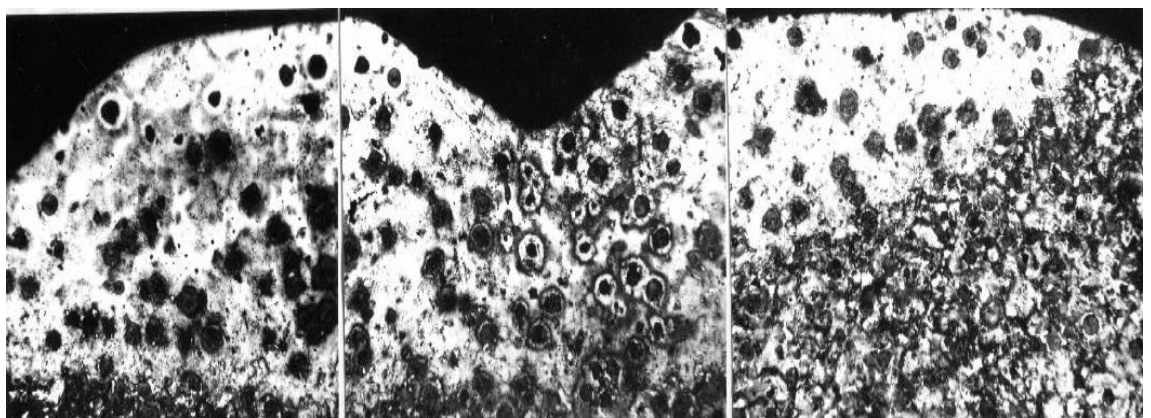


Рисунок 3.3 – Профіль поршневого кільця після опромінення

3.2 Вплив експлуатаційного нагріву на знос, структуру і властивості зміцнених шарів

Дослідження впливу нагріву на зміну структури і властивостей опроміненого чавуну виконано на зразках з частковим оплавленням поверхні, що дозволило простежити за поведінкою різних структурних елементів шару.

Характерною особливістю структур відпуску при 200-400 °С є практично повне збереження залишкового аустеніту, яке визначається рентгенографічними (рис. 3.4) і мікроструктурними дослідженнями (рис. 3.5). При цьому аустеніт не зазнавав розпаду як в зоні оплавлення, так і в ліквацийних областях зони гартування. Не змінюється і діапазон значень мікротвердості цієї складової.

Помітна зміна кількості залишкового аустеніту реєструється рентгенографічно лише після відпуску при 500 °С. Так, в зразках з загартованою поверхнею воно знижується з 37% після лазерного гарту, до 12% після відпуску. Твердість колишніх аустенітних ліквацийних зон при цьому різко зростає до HV 8500-9500. Металографічно в ліквацийних ділянках виявляється нова орієнтована голчата складова, яку можна трактувати як карбідну фазу бейнітного походження (рис. 3.5). Збіднений вуглецем аустеніт при охолодженні зазнає вторинного гартування. Обидва процеси викликають зростання твердості ліквацийних ділянок.

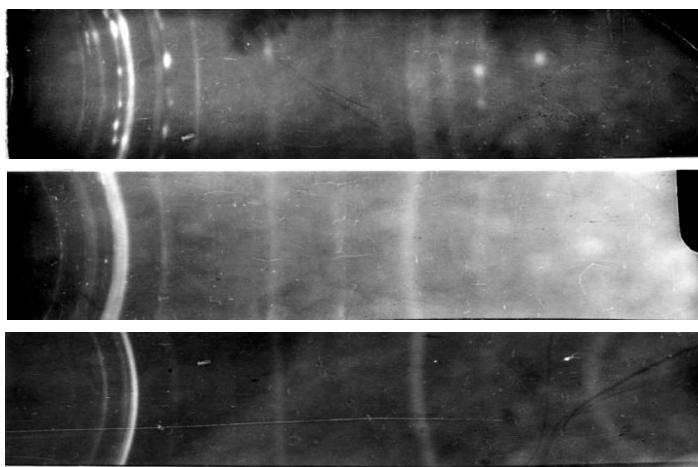


Рисунок 3.4 - Рентгенограми поршневих кілець: а, б - зона оплавлення; в - зона гартування; а, в - після відпуску при 200 °С; б - після відпуску при 400 °С

Мартенситна складова практично не змінює твердості при нагріванні до 250 °С, а в подальшому її твердість знижується порівняно повільно до HV 6300-5000 МПа при температурі відпуску 500 ° С. Голчасте орієнтування структури по мартенситу зберігається і після відпуску при 500 ° С. Отримані дані про вплив температури відпуску на властивості мартенситу в чавуні після лазерної обробки відповідають літературним даним[10].

Незначне зниження твердості квазіевтектичних і доевтектичних структур в зоні оплавлення зумовлено також відпуском, що входить до складу мартенситу.

Таким чином, отримані після лазерного опромінення структури чавуну проявляють високу стійкість проти відпуску, забезпечуючи високу твердість і зберігаючи гетерогенність структури в робочому діапазоні температур (до 350°С). Дослідження структури і властивостей опромінених з оплавленої поверхні і загартованої поверхні поршневих кілець після випробувань на знос свідчить, що їх зміни не виходять за межі впливу температури, меншою 350 ° С. Припрацьоване покриття при цьому також не позначається на властивостях приповерхневого опроміненого шару в процесі зносу.

Дані випробувань на знос, виконаних на машині тертя СМЦ-2 в умовах граничного змащення, при навантаженні 1000 Н і часу випробування 2 ч, наведені в табл. 3.1.

Аналіз експериментальних даних показує, що лазерна обробка і з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кільця, значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець. Це підтверджується і станом поверхонь зносу відповідних кілець (рис. 3.6). Важливо при цьому, що істотно зменшується і знос контртіла - гільзи. Дещо більший знос кілець з опалювальною поверхнею в порівнянні з загартуванням, очевидно, обумовлене більшою часткою аустенітних ділянок, що виходять на поверхню тертя, а підвищений знос гільзи - більш твердих ділянок білого загартованого чавуну. Важливу роль при цьому відіграє і зменшення частки графіту, що виходить на поверхню, тобто його змашуючої дії.

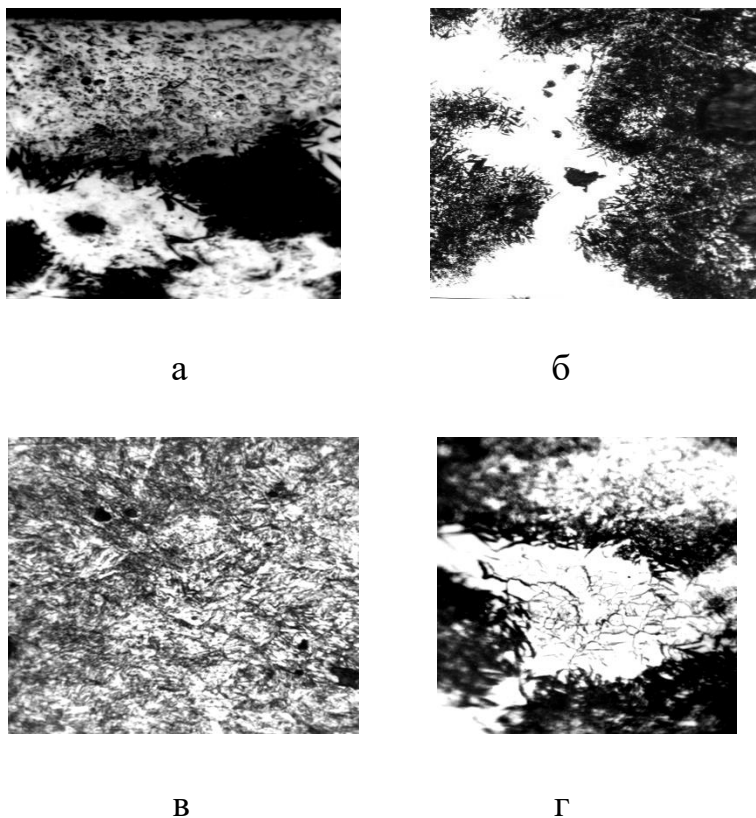
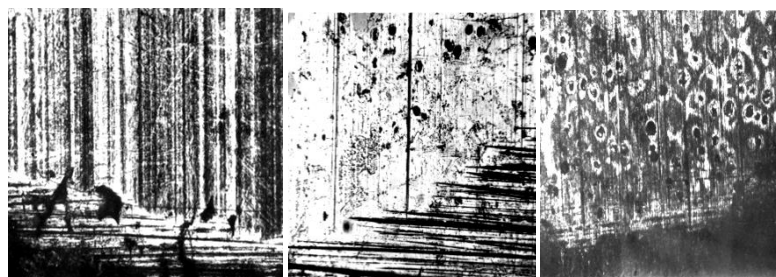


Рисунок 3.5 - Структура опроміненого шару після відпуску: а - зона оплавлення після відпуску при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$; б - зона гарту після відпуску при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$; в, г - зона гарту після відпуску при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\times 1000$



а б в

Рисунок 3.6 - Стан поверхні поршневих кілець після випробувань на зношування: а - хромоване кільце, б - кільце з лазерною опалювальною поверхнею; в - кільце з лазерним загартуванням поверхні $\times 400$.

Таблиця 3.1

Зносостійкість пари «кільце-гільза»

Обробка	Знос, мг		Коефіцієнт тертя, f
	кільце	ролик (гільза)	
Серійне хромоване з приробним покриттям	2,2	27,4	0,09
лазерний гарт	0,2	10,7	0,09
Лазерний гарт з приробочним покриттям	0,4	10,7	0,07-0,09
лазерне оплавлення	0,3	17,0	0,09-0,10
Лазерне оплавлення з приробним покриттям	1,0	13,3	0,08-0,09
Лазерне гартування і відпуск			Не випробувалось
при 400 ° С	0,8	7,1	
при 500 ° С	1	11,8	

Очевидно, що при лазерній обробці поршневих кілець перевагу має опромінення з загартуванням поверхні (так як вона практично не змінює чистоту поверхні опромінення). При цьому порушення режиму, що викликає часткове оплавлення поверхні, не повинно бути підставою для відбраковування виробів. Отже, з досліджених режимів опромінення при потужності 0,6 кВт, рекомендована обробка в діапазоні швидкостей 7,6-11 мм/с.

Висновки

1. Методами оптичної та електронної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу, вимірювання мікротвердості, лабораторних та експлуатаційних випробувань на зношування вивчені структури і властивостей поршневих кілець дизелів тепловозів після лазерної обробки з метою визначення можливості використання цього методу обробки для їх зміцнення.

2. Встановлено, що процеси осадження гальванічного хрому малопродуктивні, мають низький вихід хрому, по струму, а відходи виробництва небезпечні для навколишнього середовища. Що вимагає створення дорогих спеціальних очисних споруд для уловлювання відходів гальванічних процесів. Метод же лазерної обробки характеризується, високою продуктивністю, економічністю. Отримані результати свідчать про перспективність застосування лазерної обробки для захисту поршневих кілець від зносу і корозії.

3. Аналіз експериментальних даних показав, що лазерна обробка з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кілець, яка значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець.

4. Важливим отриманим результатом є значне зменшення спрацювання контр тіла – гільзи. Встановлено, що більше спрацювання кілець з оплавленням поверхні порівняно із загартуванням зумовлене формуванням аустенітних ділянок на поверхні тертя, а підвищення спрацювання гільзи – утворенням твердіших ділянок білого загартованого чавуну. Немало важливу роль при цьому відіграє зменшення частки графіту, що виходить на поверхню тобто його змащувальна дія.

5. Вивчено вплив режимів лазерної обробки на глибину, структуру, фазовий склад і властивості опроміненого шару в поршневих кільцях. Встановлено діапазони швидкостей опромінення, що створюють шари з повним, частковим опалювальному і загартуванням поверхні. Визначено режими опромінення, що виводять на поверхню шари з різним

співвідношенням аустенитної, мартенситної і карбідної складової з властивостями, що забезпечують високу зносостійкість.

6. Встановлено, що зміцнений лазерною обробкою чавун характеризується високою стійкістю до відпуску при нагріванні до 400°C , зумовленої впливом кремнію та інших легуючих елементів.

7. Показано, що найкращою зносостійкістю, що перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець, характеризуються кільця, опромінені по режиму: $W = 0,6 \text{ кВт}$, $V_{\text{обл.}} = 10-11 \text{ мм / с}$.

8. Результати роботи впроваджені на ДП «Завод ім. В.О. Малишева».

Список використаної літератури

1. Пожарные аварийно-спасательные. и специальные машины: Учебное пособие / Б. Л. Кулаковский, В. И. Маханько, А. В. Кузнецов. - Мн.: Технопринт, 2002 - 382 с
2. Справочное пособие по работе на специальных пожарных автомобилях (гдзс, пд, асо, аса) / волков в.д., ерохин с.п., орлов л.а. и др. - м.: вниипо, 1999. - 237 с.
3. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 398 с.
4. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельский, А.А.Поляков – М.: Транспорт, 1969. – 104 с.
5. Анисимов М.И. Воздушно-плазменное напыление термических порошков / М.И. Анисимов // Сб. ГТНП-91. – 1991 – С. 13–19.
6. Хасуи А. Техника напыления / А. Хасуи. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
7. Белашенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белашенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов, Ю.Б. Черняк // Физика и химия обработки материалов. – 1984. – № 4–5. – С. 22–26.
8. Семенов А.П. Создание износостойких и антифрикционных покрытий и слоев на поверхностях трения деталей машин новыми методами / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 401–411.
9. Присевок А.Ф. Упрочнение и восстановление быстроизнашивающихся деталей самофлюсующимися, твердыми сплавами / А.Ф. Присевок // Долговечность трущихся деталей машин. Сб.статей, под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – Вып. 2. – С. 224–23.
10. Семенов Л.П. Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких материалов при высоких температурах / Л.П. Семенов. – М.: Наука, 1972. – 160 с.

11. Трефилов В.И. Структуры и свойства материалов и покрытий из композиций хром-карбид / В.И. Трефилов, Ю.С. Борисов, Р.А. Алфинцева и др. // Порошковая металлургия. – 1981. – № 11. – С. 74–80.

12. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М.: Наука, 1977. – 184 с.