

УДК 669.056.9-034.13-044.88:62-222

Л.П. КЛИМЕНКО, В.І. АНДРЕЄВ, О.І. СЛУЧАК
Чорноморський національний університет імені Петра Могили**ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВЗ ШЛЯХОМ
НАРОЩУВАННЯ В ПРИСУТНОСТІ ПОКРИТТЯ-МОДИФІКАТОРА
Ti-TiO₂-Cu₂O**

В даній статті розглянуто питання відновлення зношеної поверхні тертя гільзи циліндра ДВЗ за рахунок об'ємного розширення чавуну. Результати математичного моделювання процесу об'ємного розширення чавуну СЧ20 продемонстрували, що при контрольованому процесі зростання чавуну не перевищує 3 % об'єму, що достатньо для відновлення мікро тріщин та нерівностей поверхні тертя з збереженням загальної геометрії деталі. На практиці підтверджено, що процес об'ємного розширення може стати основою для відновлення мікрогеометрії поверхні деталі, але через його не контрольованість потребує наявності додаткової операції з нанесення покриття-модифікатора на основі титанової губки здатного виконувати регулюючу роль, як ферритизатора при нарощуванні та стати додатковим елементом зносостійкості самої деталі.

Ключові слова: покриття, перлітний чавун, відновлення, трибомодифікація, нарощування.

Л.П. КЛИМЕНКО, В.І. АНДРЕЄВ, О.І. СЛУЧАК
Черноморский национальный университет имени Петра Могили**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА ДВС ПУТЕМ
НАРАЩИВАНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПОКРЫТИЯ-МОДИФИКАТОРА Ti-TiO₂-Cu₂O**

В данной статье рассмотрены вопросы восстановления изношенной поверхности трения гильзы цилиндра ДВС за счет объемного расширения чугуна. Результаты математического моделирования процесса объемного расширения чугуна СЧ20 продемонстрировали, что при контролируемом процессе роста чугуна не превышает 3 % объема, что достаточно для восстановления микро трещин и неровностей поверхности трения с сохранением общей геометрии детали. На практике подтверждено, что процесс объемного расширения может стать основой для восстановления микрогеометрии поверхности детали, но из-за его бесконтрольности, требует наличия дополнительной операции с нанесением покрытия-модификатора на основе титановых губки способного выполнять регулирующую роль, как ферритизатора при наращивании и стать дополнительным элементом износостойкости самой детали.

Ключевые слова: покрытие, перлитный чугун, восстановление, трибомодификация, наращивание.

L.P. KLYMENKO, V.I. ANDRIEIEV, O.I. SLUCHAK
Petro Mohyla Black Sea National University**RESTORATION OF THE FRICTION SURFACE FOR THE CYLINDER ICE
THE PLOTTING OF THE COATING-MODIFICATOR Ti-TiO₂-Cu₂O**

In the given article the questions of restoration of worn surface of a friction of an insert of a cylinder of ДВЗ are considered at the expense of bulk expansion of a cast-iron. The results of mathematical modeling of the volume expansion of cast iron СЧ20 showed that in a controlled process, the growth of pig iron does not exceed 3% of the volume, which is sufficient for the restoration of microcracks and irregularities of the friction surface while preserving of the overall geometry of detail. In practice, it has been confirmed that the bulk expansion process can become the basis for restoring the microgeometry of the surface of the part, but due to its non-controllability, there is a need for additional operation such as apply a titanium sponge coating that can be modifier capable of performing the regulatory role as a ferriziator during groving and to become an additional element of wear resistance for the detail.

Keywords: coating, pearlitic iron, regeneration, tribomodification, metal groving.

Постановка проблеми

Питання структурної модифікації металічної поверхні тертя в ході ремонту зношеної деталі є актуальним для сучасної науки, адже практичні випробування таких технологій показали що ремонт, зазвичай продовжує термін експлуатації деталі на строк більший, ніж вона працювала до зносу, адже відновлена поверхня набуває додаткових властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У сучасному машинобудуванні відома і застосовується велика кількість методів підвищення зносостійкості поверхонь тертя [7, 8, 9, 10, 11, 12]. До них відносяться як конструкторські, технологічні, так і заходи, що застосовуються в експлуатації машин. Зосередимося на заходах технологічного плану, використовуваних при виготовленні деталей, що забезпечують необхідні характеристики безпосередньо деталі. Серед відомих і ефективних способів підвищення зносостійкості поверхонь тертя багато не можуть бути застосовані для зміцнення деталей циліндропоршневої групи внаслідок своєї дорожнечі, масштабного фактора або інших причин. При виборі методу зміцнення робочих поверхонь деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ) ДВЗ, в першу чергу, слід виходити з масштабу виробництва двигунів, а втулок (гільз) циліндрів – ще в десять разів більше (внаслідок наявності декількох циліндрів на двигуні і виробництва запасних частин). Також слід враховувати габарити і масу деталі, особливо судових і тепловозних дизелів.

Перша група методів відновлення та модифікації зношених поверхонь металічних деталей – легування та модифікування матеріалу циліндра – широко поширена в сучасних двигунах і є необхідним елементом в комплексі технологічних заходів щодо забезпечення заданої якості деталі [9; 11]. Легування чавунів Ni, Cr, Mo, V, Cu і іншими елементами, а також модифікування магнієм, ітрієм і церієм сприятливо позначається на структурі і властивостях чавунів і дозволяє проводити наступні зміцнюючі обробки з більшою ефективністю. Вплив хімічного складу чавуну на зносостійкість слід розглядати тільки як вплив на його структуру, тому що зносостійкість чавуну, в першу чергу, визначається його структурою. Підвищення зносостійкості при легуванні відбувається за рахунок сорбітизації перліту, його зміцнення, утворення карбідів і впливу на форму і розмір графітових включень.

Залежно від використовуваних матеріалів і габаритів деталі застосовуються різні схеми нагріву деталі, температури нагріву під загартування, середовища, в якому здійснюється гарт. Для гільз з сірого чавуну застосовується гарт в мастило від температур 850 ... 875 ° С з наступним відпуском при 350 ... 375 ° С [11]. Для гільз циліндрів з легованих чавунів і сталей застосовуються більш складні технології термообробки – нагрівання в псевдозрідженому шарі і гарт в розплаві солей.

Друга група методів підвищення ресурсу передбачає підвищення зносостійкості шляхом пластичного деформування робочої поверхні втулки і полягає в створенні в пластично деформованому шарі металу залишкових напружень стиску і мікрорельєфу, що сприяє утриманню мастила. Існує одинадцять можливих механізмів пластичної деформації, які можна поділити на три групи [12]. До першої групи входять зсувні процеси, до другої – дифузійні, до третьої – процеси пластичної деформації, викликані відносним переміщенням зерен, блоків зерен і кордонів, або так звані периферійні процеси. Поверхнева термомеханічна обробка, охоплена в рамках даного дослідження, полягає в поєднанні пластичної деформації з термічною обробкою. Пластичні деформації піддається робоча поверхня деталі при температурах існування аустеніту з подальшими загартуванням і низьким відпуском [7]. Глибина зміцненого шару досягає 4 ... 7 мм. Зносостійкість гільз зростає в 2-2,6 рази.

До третьої групи методів підвищення зносостійкості втулок циліндрів відноситься створення на робочій поверхні деталі матеріалу або фази, відмінних від матеріалу втулки, що мають чітку межу розділу [9, 10]. За допомогою наплавлення, напилення, хімічним або іншим шляхом на робочу поверхню втулки наноситься шар зносостійкого матеріалу. Це дозволяє отримувати робочу поверхню деталі з найбільш зносостійких матеріалів при застосуванні для основної маси деталі матеріалу низької якості і вартості. Газополум'яне, полум'яне електродугове і детонаційне напилення (металізація) дозволяє наносити на поверхні тертя практично будь-які матеріали та їх композиції [9; 10], що значно збільшує зносостійкість деталей.

Відносно циліндрів і поршневих кілець ДВС найбільшого поширення набуло хімічне нікелювання, оксидування, фосфатування і сульфидування, а також високотемпературна обробка паром [8]. Найбільш поширеними методами відновлення зношених деталей тут є різні типи покриттів, що заповнюють мікронерівності і захищають зношену поверхню та відновлення самої поверхні через наплавлення, механічну обробку або нарощування. Саме поєднання такого методу відновлення у вигляді нарощування з вказаним вище захистом поверхні за рахунок покриття і структурною модифікацією в ході самого відновлення розглядається в даному дослідженні.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є розробка та вдосконалення патентноспроможного методу відновлення та модифікації поверхні зношеної чавунної гільзи ДВЗ (матеріал гільзи сірий чавун СЧ20).

В ході досліджень поставлено ряд завдань, що забезпечать системне охоплення досліджуваного питання:

1) визначити основні недоліки відновлення зношених поверхонь шляхом нарощування та теоретично обґрунтувати процес структурних перетворень поверхні деталі в ході її рекристалізації;

двигуна разом з повітрям при його неякісній очищенні, з паливом і маслом при неякісній заправці і фільтрації. Темпи абразивного зношування на 60...80% перевищують темпи корозійного, тому необхідно застосовувати спеціальні заходи для пилозахисту двигуна. Метал циліндрів повинен володіти хорошими ливарними властивостями і легко оброблятися на верстатах [1].

Відповідно до цих вимог основним матеріалом для циліндрів служить перлітний сірий чавун. Це обумовлюється технологічністю чавунних деталей, гарними ливарними властивостями чавуну, а також цінними експлуатаційними якостями: високою зносостійкістю, малою чутливістю до концентраторів напруг, здатністю гасити вібрацію, невисокою теплопровідністю.

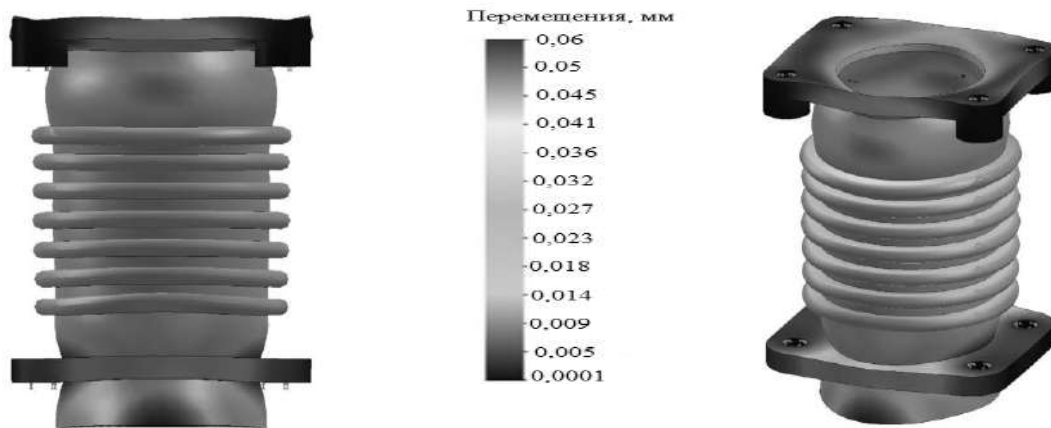


Рис. 2. Зміна форми, що виникає в металі по висоті гільзи при експлуатації

Нами було запропоновано відновлення внутрішньої (дзеркальної) поверхні гільзи циліндра за рахунок зростання чавуну, тобто оптимізація режиму термоциклювання з таким урахуванням, щоб відбулося збільшення внутрішнього діаметра до номінального без істотного зниження міцності гільзи.

Як наслідок відбувається необоротне збільшення об'єму чавунних деталей при повторних нагріві і охолодженні, що є наслідком процесів розпушення чавуну через його окислення, виділення графіту і газів з твердого розчину.

Для відновлення та укріплення наданої заводом гільзи був обраний такий режим термоциклювання (5 циклів):

- нагрів до 1000 ° С;
- витримка 15 хв;
- охолодження до 700 ° С;
- витримка 30 хв;
- охолодження до кімнатної температури.

Для здійснення даного способу гарту скористалися муфельною піччю. Зменшення діаметру дзеркала циліндра за рахунок зростання чавуну після першого термоциклювання дорівнювало 10–12 мкм.

Для кожного з п'яти режимів проводилося віртуальне зондування температури по перетину гільзи в восьми точках.

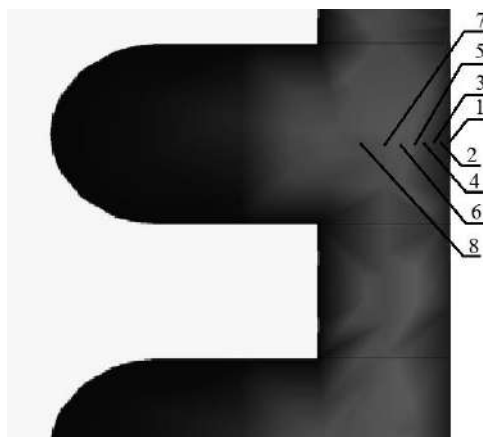


Рис. 3. Схема зондування поверхні гільзи

Результати наведено в табл. 1 та на рис. 4.

Таблиця 1

Зміни температури залежно від віддалення від робочої поверхні

Точка	1000 °C → 500 °C		1000 °C → 600 °C		1000 °C → 700 °C		1000 °C → 800 °C		1000 °C → 900 °C	
	T, °C	x, мм	T, °C	x, мм	T, °C	x, мм	T, °C	x, мм	T, °C	x, мм
1	991	0,09	999	0,01	999	0,01	992	0,15	998	0,08
2	936	0,83	958	0,49	978	0,47	974	0,74	989	0,68
3	876	1,59	931	1,00	962	0,82	952	1,55	981	1,26
4	815	2,46	881	2,63	929	1,52	921	2,51	970	1,93
5	741	3,52	836	3,16	908	1,99	880	3,79	960	2,65
6	643	4,73	766	3,74	872	2,85	863	4,67	949	3,51
7	605	6,08	731	4,59	804	4,44	852	5,56	936	4,32
8	541	7,79	642	7,44	778	5,42	830	6,95	924	4,90

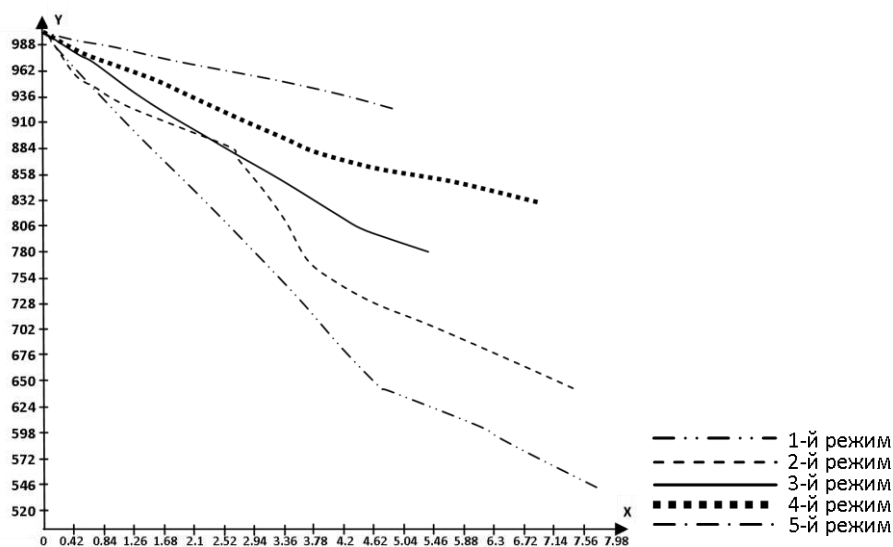


Рис. 4. Графік зміни температури залежно від віддалення від робочої поверхні

Зростання відбувається внаслідок міжкристалічного окислення металу на межі зерен і включень графіту. Оскільки обсяг утворюються окислів більше обсягу окисленого металу, відбувається деформація виробу (спучування). Сірий чавун більш схильний до зростання, ніж інші чавуни. Зростання об'єму відбувається не тільки за рахунок окислення, але і за рахунок графітизації: при тривалому впливі на чавунну виливку високої температури відбувається розпад карбіду заліза Fe_3C на складові – ферит і графіт, які виділяються в структурно вільному вигляді. Так як карбід заліза має питому вагу 7,82, залізо 7,85 і графіт 1,8, то розпад карбіду супроводжується зміною (збільшенням) обсягу деталі. Графіт, що виділяється в результаті розпаду карбіду, частково нагромаджується в місцях розпаду, частково проникає шляхом дифузії до поверхонь наявних в чавуні первинних графітових включень і відкладається на них. Таким чином, розпад карбіду супроводжується збільшенням в чавуні кількості і розмірів графітових включень. Структура чавуну при цьому розпушується. Зростання об'єму чавуну може дійти до 30% початкового об'єму, але зазвичай воно не перевищує 3 %. Зрозуміло, що механічні властивості чавуну в результаті процесу зростання знижуються.

На рис. 5 представлені фото мікроструктур чавуну до а) та після б) термічного впливу.

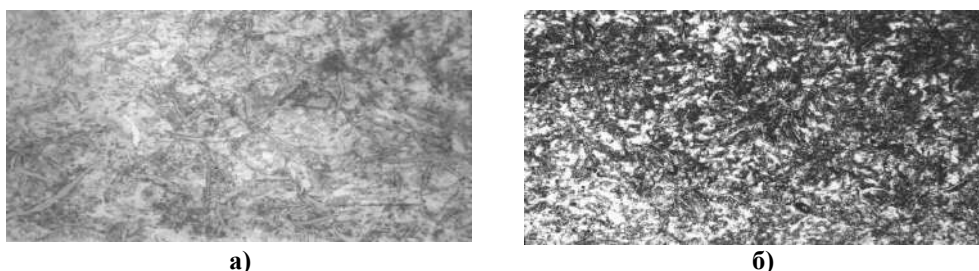


Рис. 5. Фото мікроструктур чавуну до а) та після б) термічного впливу

Метод відновлення зношеної поверхні чавунної деталі за рахунок рекристалізації металу та зростання його об'єму з заповненням нерівностей без втрати міцності розроблявся в рамках досліджень процесу нарощування чавуну в циліндричних деталях.

Відповідно розроблено спосіб модифікації поверхні металу, що включає два етапи:

1. Механічна трибомодифікація поверхні за рахунок натирання заготовки контртілом – порошковою титановою губкою в суміші з ПМУ (мідний порошок дрібної фракції) у вигляді спресованого пористого матеріалу в присутності гліцерину (рис. 6).

2. Спінання обробленої деталі в муфельній печі при температурі 800 °С, протягом якої відбувається рекристалізація поверхневого шару і подрібнення перлітних зерен під впливом ферритизуючих властивостей покриття (рис. 7).

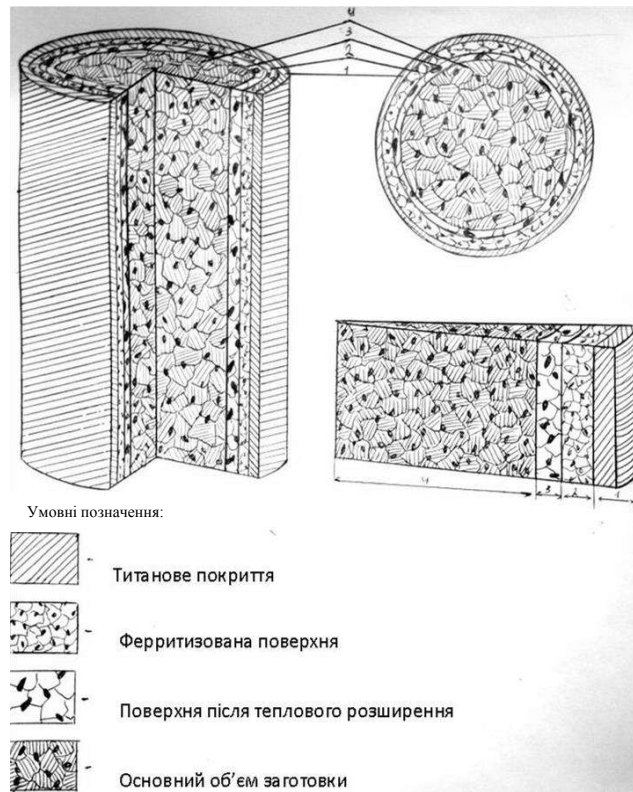
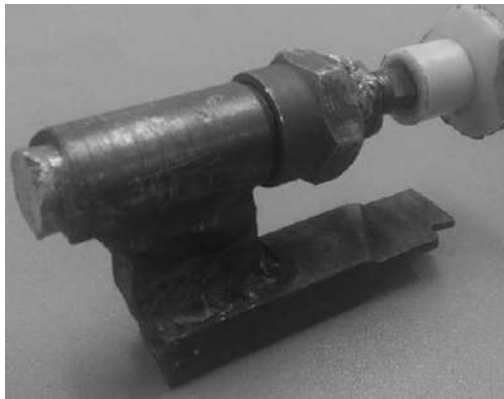


Рис. 6. Контртіло Ti-TiO_2 +ПМУ

Рис. 7. Структура обробленої заготовки

Суть удосконалення даної технології полягає в тому, що нанесене механічним методом за рахунок тертя спресованого порошку титанової губки та ПМУ об поверхню металічної деталі покриття, під дією високої температури в 800 °С в процесі спікання впливає на хід рекристалізації чавуну, провокуючи подрібнення перлітної структури, а відповідно і підвищення міцності поверхневого шару металу в зоні контакту з покриттям. Відповідно, відбувається компенсація укрупнення графітних зерен в поверхневій зоні контакту з нанесеним покриттям на основі титанової губки. Оксид титану – ферритизатор, що сприяє подрібненню перлітних зерен за рахунок утворення більшої кількості центрів кристалізації при рекристалізації поверхневого шару металу. ПМУ в складі контртіла сприяє кращому зціпленню покриття з поверхнею металу та посилює трибомодифікуючі властивості на стадії до спікання, сприяючи більш глибокій взаємодії легуючих елементів покриття з зовнішнім шаром деталей. Таким чином вирішується проблема спучування металу в поверхневій зоні, ріст графітних включень в проміжному шарі відбувається «всередину» основного об'єму, а тому деформація внаслідок структурних змін впливає лише на заповнення тріщин та інших нерівностей на робочій поверхні, що витісняє частки нанесеного покриття Ti-TiO_2 , не впливаючи на форму заготовки і вимагаючи мінімальної механічної обробки після спікання.

Композитний матеріал контртіла було виготовлено в формі циліндричної заготовки діаметру 48,97мм; висотою 16,60 мм; масою 71,221 г; об'ємом 31,247 см³; густиною 2,279 г/см³. Твердість контртіла за HRB: max 71; min 30. Щільність матеріалу визначали методом гідростатичного зважування згідно з ГОСТ 20018-74. Твердість визначали на обладнанні типу Роквела згідно з ДСТУ ISO 6507-4:2008.

Нанесення покриття включало 4 етапи аналогічні до процесу механічної трибомодифікації та геотрибомодифікації зокрема. На першому етапі контртіло виконувало роль абразиву, здійснюючи

поверхнєве шліфування та приробку оброблюваної поверхні. На другому етапі за рахунок локального перегріву в зоні тертя компоненти контр тіла здійснювали легуючий вплив на поверхню металу, посилений за рахунок каталітичних процесів при високотемпературному розпаді органічних компонентів змазки (гліцерину). На третьому етапі відбувалось формування металічного покриття за рахунок пластичної деформації перегрітих компонентів контр тіла та їх зціплення з поверхнею заготовки. На четвертому етапі, утворене захисне покриття значно знижує коефіцієнт тертя, що припиняє процес утворення покриття і робить його само регульованим в певному діапазоні.

Фазовий склад готового покриття визначали рентгеноструктурним аналізом на дифрактометрі ДРОН-3. Для всіх точок проводили по п'ять замірів. В якості джерела рентгенівського випромінювання застосовувалась рентгенівська трубка 2,4БСВ-24Cu (довжина хвилі характеристичного випромінювання $\lambda_k = 0,154178 \text{ нм}$) з застосуванням Ni β -фільтру. Обертання зразків обиралося в інтервалі подвійних кутів від 30 до 90°. Прискорювальна напруга на трубці складала 45 кВ, струм накалювання 30 мА. Швидкість розвороту 1 град/хв., швидкість руху діаграмної стрічки 60 мм/год. Чуттєвість обладнання складала 250 імпульс/с.

Таблиця 2

Фазовий склад готового покриття після спікання заготовки

Твердість HRB	Діаметр екс.	Діаметр літ.	Фаза	Параметр решітки		
33,35	2,678			α -Ti		
35,45	2,532	2,540	α -Ti _[100]	a, нм	c, нм	c/a
38,4	2,344	2,341	α -Ti _[002]	0,2924	0,4737	1,62
39,9	2,259	2,230	α -Ti _[101]	TiO ₂ (рутил)		
41,5	2,176	2,190	TiO ₂ [111] (рутил)	a, нм	c, нм	
44,5	2,036	2,050	TiO ₂ [210] (рутил)	0,4521	0,2736	
46,55	1,951	1,880	TiO ₂ [200] (рутил)			
52,95	1,729	1,720	α -Ti _[102]			
60,5	1,530	1,510	Cu ₂ O [102]			
62,55	1,485	1,485	TiO ₂ [002] (рутил)			
68,6	1,368	1,355	TiO ₂ [301] (рутил)			
70,25	1,340	1,300	α -Ti _[103]			
72,55	1,303					
73,55	1,288	1,275; 1,283	α -Ti _[200] ; Cu ₂ O [311]			
75,65	1,257	1,262	TiO ₂ [224] (анатаз)			
76,7	1,242	1,248; 1,245	α -Ti _[112] ; TiO ₂ [112] (рутил)			
80,6	1,192	1,17; 1,76	α -Ti; TiO ₂ [321] (рутил)			

При дослідженні спечених зразків титанової губки фазовий аналіз показав наявність чітко виражених піків α -Ti з гексагональною щільно упакованою решіткою (еталонне значення параметра решітки a = 0,2951 нм, c = 0,4697 нм та c/a = 1,587), на дифрактограмі також присутні чіткі піки, що належать оксиду титану тетрагональної сигонії рутил (еталонне значення параметра решітки a = 0,45929 нм, c = 0,29591 нм) та анатаз (еталонне значення параметра решітки a = 0,3785 нм, c = 0,9486 нм) утворених при довгому відпалі.

Висновки

1. Визначено, що основним недоліком відновлення чавунних гільз ДВЗ методом нарощування є об'ємна деформація поверхні.

2. Створено технологію поверхневої трибомодифікації з утворенням захисного покриття Ti-TiO₂-Cu₂O, що за рахунок ферритизуючих властивостей компонентів покриття забезпечує регулювання процесу нарощування стримуючи об'ємну деформацію в межах геометрії заготовки.

3. Впровадження даної методики дозволить проводити якісне поверхнєве відновлення трибонавантажених деталей ДВЗ з їх одночасною модифікацією. При цьому суттєвою перевагою є збереження початкових властивостей металу з виключенням явища укрупнення перлітних зерен при рекристалізації за рахунок їх подрібнення під впливом ферритизуючих властивостей матеріалу покриття.

4. Розроблений метод може бути впроваджений в галузі ремонту та відновлення зношених деталей, а також при виробництві деталей з підвищеною зносостійкістю.

5. Розробка може становити інтерес як дешевий метод відновлення та модифікації поверхонь зношених у результаті тертя поверхонь деталей гільз ДВЗ та інших високо навантажених поверхонь тертя. Перспективною є можливість використання даної методики відновлення та модифікації поверхонь для специфічних умов потужних імпульсних навантажень в агресивних умовах, а також таких же навантажень, розтягнутих у часі.

6. Перспективним шляхом вдосконалення даної розробки є доповнення процесу трибомодифікації на стадії нанесення покриття за рахунок складу контр тіла шляхом додавання органічних добавок та геомодифікаторів на зразок червоного бокситного шламу, вермикуліту, торфу та серпентинів.

8. Перспективним шляхом досліджень є розширення методики нанесення покриттів за рахунок електрохіміко-механічної обробки деталі в ході трибомодифікації при нанесенні покриття.

Список використаної літератури

1. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М. : Высшая школа, 1980. – 400 с.
2. Зуев В. М. Термическая обработка металлов / В. М. Зуев. – М. : Высшая школа, 1976. – 344 с.
3. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 190 с.
4. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.
5. Баранов А. А. Рост чугуна и стали при термоциклировании / А. А. Баранов, К. П. Бунин. – К. : Техника, 1967. – 130 с.
6. Пивоварский Е. Высококачественный чугун / Е. Пивоварский. Т. 1. – М. : Metallurgiya, 1965. – 637 с.
7. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В. М. Власов. – М. : Машиностроение, 1987. – 304 с.
8. Гаркунов Д. Н. Триботехника : учебник для вузов / Д. Н. Гаркунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
9. Кулик А. Я. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей / А. Я. Кулик, М. Д. Никитин и др. – Л. : Машиностроение, 1977. – 162 с.
10. Кутьков А. А. Износостойкие и антифрикционные покрытия / А. А. Кутьков. – М. : Машиностроение, 1976. – 152 с.
11. Пивоварский Е. Высококачественный чугун / Е. Пивоварский. – М. : Metallurgiya, 1965. – Т. 1–2. – 1184 с.
12. Соколенко И. Н., Хромов В. Н. Упрочнение поверхностно-пластическим деформированием гильз цилиндров с одновременным нанесением антифрикционного покрытия / И. Н. Соколенко, В. Н. Хромов // Двигателестроение. – 1990. – № 9. – С. 39–40.
13. Клименко Л. П. Ресурс двигателей внутреннего сгорания и пути его повышения / Клименко Л. П. Прищепов О. Ф. Андреев В. И. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 196 с.
14. Клименко Л. П. Управління процесами формування пористих поверхневих структур на стадії отримання заготовок / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай. — Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2017 – 145 с.