

Случак О. І.,аспірант,
slu4ok@mail.ru**Шугай В. В.,**аспірант,
drhouse36@mail.ru**Андрєєв В. І.,**канд. техн. наук, доцент,
ЧНУ ім. Петра Могили,
м. Миколаїв, Україна,
drhouse36@mail.ru

ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ КОМПОЗИТНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ В АСПЕКТІ ЗМЕНШЕННЯ ОБСЯГІВ ВІДХОДІВ

Проаналізовано механізм ерозії металу в умовах агресивних температурних, хімічних та механічних навантажень імпульсного характеру. Визначено основні переваги та недоліки різних типів захисних покриттів. Наведено основні фактори зносу металічних деталей та математичні моделі формування структури циліндричних деталей. У результаті в якості основи дослідження обрано методики вдосконалення комбінованого покриття для кокілів відцентрового лиття, що наноситься методом напилення. Запропонована технологія газотермічного напилювання дозволяє нанести на поверхню форми шар металу або сполук металу товщиною 1–3 мм. Після напилювання можна одержати форму, покриту захисним термічно стійким покриттям, що витримує значну кількість виливків. Запропонований метод передбачає можливість утворення композитної поверхневої структури, що підвищить зносостійкість як кокілів так і готових зносостійких деталей і значно зменшить обсяги відходів, утворених внаслідок зношування даних деталей.

Ключові слова: ДВС; кокіль; знос; захисні покриття; напилення; мікроструктура.

Проанализированы механизм эрозии металла в условиях агрессивных температурных, химических и механических нагрузок импульсного характера. Определены основные преимущества и недостатки различных типов защитных покрытий. Приведены основные факторы износа металлических деталей и математические модели износа цилиндрических деталей. В результате в качестве основы исследования, избран методики совершенствования комбинированного покрытия для кокилей центробежного литья, наносится методом напыления. Предложенная технология газотермического напыления позволяет нанести на поверхность формы слой металла или соединения металла толщиной 1–3 мм. После напыления можно получить форму, покрытую защитным термически устойчивым покрытием, выдерживает большое количество отливок. Предложенный метод предусматривает возможность образования композитной поверхностной структуры, что повысит износостойкость как кокилей так и готовых износостойких деталей и значительно уменьшит объемы отходов, образованных вследствие износа данных деталей.

Ключевые слова: ДВС; кокиль; знос; покрытия; напыление; микроструктура.

This article shows some mechanisms of the metal erosion in aggressive thermal, chemical and mechanical loads. The subject for this study is methods to reducing the amount of waste resulting from the operation of the parts by applying protective coatings. The aim of this study is to examine the basic properties of the components ceramic, ceramic-metal and polymer protective coatings that are applied or can be applied in the repair and life extension of engine parts and mould making. It contains the main advantages and disadvantages of different types of protective coatings. The basic factors of wear for metal parts and mathematical models wear cylin-

dricial parts are the most important idea of our study. The authors investigated the technological options for the production of coatings by ion-plasma deposition and properties of coatings depending on the modes coatings (Ti – ZR) N. As a result, the foundation for selected research methods are improving the combined coating metal mold centrifugal casting that is applied by spraying. The proposed gas-thermal spraying technology allows you to put on the surface form a layer of metal or metal compounds thickness of 1–3 mm. After spraying can be obtained form covered with a protective heat-resistant coating that can withstand a significant amount of castings.

Key words: ICE; chill; wear; coating; spraying; mikrostruktura.

Постановка проблеми. Характерною особливістю виробництва деталей ДВЗ є постійне підвищення технологічності такого виробництва, що дозволяє здешевити створення продукту, підвищивши при цьому його якість та надійність. У той же час такий підхід вимагає постійного вдосконалення матеріалів, що застосовуються в виробництві. Деталі двигунів, елементи ливарних кокілів, постійно підлягають впливу агресивного робочого середовища.

Робоча поверхня зносостійких матеріалів постійно витримує значні фізичні та термічні навантаження, що в свою чергу активізують і процеси хімічної корозії. Розробка сучасних сортів сталей та складних композитів разом з рядом методів обробки готових деталей підвищила моторесурс за рахунок зменшення зносу деталей в рази. Антифрикційні покриття та утворення захисного металічного шару шляхом напилення дозволили продовжити терміни експлуатації облицювання для кокілів до 1,5–2 раз.

Досить складно підібрати матеріал з потрібними властивостями, але як уже було вказано, поверхня не обов'язково має бути однорідною. Крім флегматизаторів (а також різних варіантів антифрикційних покриттів), активно застосовуються довгострокові захисні покриття і поверхневі композитні структури як дифузійного типу (при легування та інших варіантах поверхневої обробки) так і змінні зносостійкі елементи і комбіновані мікрорельєфні форми з короткостроковими захисними покриттями типу флегматизаторів та мастил.

При експлуатації сільськогосподарської техніки було на практиці доведено [6], що відновлення зношених деталей дозволяє повторно, іноді багаторазово, використовувати деталі та складальні одиниці, які вичерпали свій ресурс.

Знос поверхонь або інші дефекти, що виникли в процесі експлуатації машин, можуть бути усунуті при відновленні. Це значно скорочує витрати нових запасних частин, забезпечує значну економію коштів і праці, сприяє охороні навколишнього середовища у зв'язку з виключенням етапів виробництва деталей. В той же час ресурс відновлених деталей найчастіше значно вище завдяки використанню ефективних способів відновлення й поліпшеним властивостям зміцнених поверхонь [5].

У цьому випадку розглядається відновлення в комбінації з нанесенням захисних покриттів для деталей двигунів, це один з двох напрямків, що передбачають найбільш складні умови експлуатації. Другим є стволи кокілі відцентрового лиття.

Фактори горіння палива, особливо хімічно активні гази, псують поверхні деталей з якими контактують в умовах високих температур. Очищення і змащування є вагомими факторами по підвищенню ресурсу деталей, що піддаються тертю, не менш важливими є матеріал і конфігурація поверхні самої деталі. Якщо не чистити і не змащувати метал, корозійний знос відбуватиметься з на порядки вищою швидкістю. Це, так би мовити, «гігієна» двигуна.

Окрім цього профілактичного засобу, є ще інші. Їх застосовують у тому випадку, коли одними «гігієнічними» заходами вже нічого не можна зробити, але до заміни деталі також не дійшло. Відновлення та поверхневе зміцнення застосовують тоді, коли поверхня деталі приходить в непридатність, не порушуючи об'ємну структуру металу, а відповідно, залишаючись придатною до ремонту. Пригадаємо, що деталь тертя зношується, по суті кажучи, від руйнування тонкого шару металу. Весь останній метал у такому випадку може не піддаватись екстремальним для його структури навантаженням, а тому бути цілком придатним. Тому по аналогії з лейнерами для жарових труб виникла думка про заміну не всього вузла, а лише тонкого шару металу на поверхні деталі.

Відповідно, основною проблемою нашого огляду є опис основних властивостей різних компонентів для захисних покриттів та їх властивостей, що дозволить в перспективі підібрати оптимальну комбінацію для конкретних умов експлуатації.

Об'єктом дослідження є методи формування поверхневих зносостійких структур для складних умов експлуатації.

Предметом визначено методи зменшення обсягів відходів, що утворюються при експлуатації деталей, шляхом нанесення захисних покриттів.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розгляд основних властивостей компонентів керамічних, металокерамічних та полімерних захисних покриттів, що застосовуються або можуть бути застосовані в ремонті та подовженні терміну експлуатації елементів двигунів та ливарних форм.

Постановка завдання. З метою більш повного аналізу визначеної вище проблеми перед нами було поставлено ряд завдань:

1. Розглянути основні причини зносу деталей у специфічних умовах експлуатації.
2. Проаналізувати основні методи нанесення захисних покриттів, їх переваги та недоліки.
3. Описати основні матеріали захисних покриттів, що застосовуються, або можуть бути застосовані для відновлення та подовження терміну експлуатації еле-

ментів двигунів та ливарних форм, а також охарактеризувати їх властивості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Типовими критичними поверхнями тертя для циліндричних деталей є два основних типи поверхонь, що піддаються впливу – це зовнішні та внутрішні поверхні циліндра.

Прикладом ВПС для зовнішньої поверхні циліндричних деталей є типові елементи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Прикладом ВПС для внутрішньої поверхні циліндричних деталей є внутрішня поверхня кокілью відце-

нтового лиття в місцях контакту з розплавом, що розглядатиметься в меншій мірі.

Велике значення має не тільки тип зношування деталі, а і тип та інтенсивність дії факторів, що спричиняють зношування поверхні деталі, що розглядається, а також характеристики матеріалу, з якого створена деталь, її поверхнева структура і характер експлуатації і заходів з її зміцнення чи відновлення.

За корозійною стійкістю металічні поверхні поділяють на: шість груп (Табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація матеріалів за групами корозійної стійкості

Група корозійної стійкості	Швидкість корозії металу, мм/рік	Бал
Повністю стійкі	менше 0,001	1
Досить стійкі	0,001-0,005	2
	0,005-0,01	3
Стійкі	0,01-0,05	4
	0,05-0,1	5
Понижено стійкі	0,1-0,5	6
	0,5-1	7
Малостійкі	1-5	8
	5-10	9
Нестійкі	більше 10	10

Звичайно, інтенсивність зношування залежить також від ряду факторів експлуатаційного характеру таких як:

- якість мастила і ступінь її очищення від механічних домішок;
- кількість і рівномірність подачі мастила до частин, що труться поверхонь;
- теплові режими роботи двигуна;
- частота зупинок і пусків двигуна, що порушують нормальну подачу мастила до частин, що труться поверхонь;
- справність роботи паливної апаратури.

Згідно з нормами експлуатації ДВЗ можна виділити граничні і допустимі зноси деталей машин. Граничними вважаються знос поверхні, що порушує нормальну надійну роботу деталі або складального з'єднання, при цьому не впливаючи на об'ємну структуру деталі, але провокуючи можливість поломки деталі або відмови іншого характеру за дії граничних, або навіть робочих навантажень.

Допустимими для експлуатації механізмів називають рівні зносу такої величини, що не здійснює значного впливу на основні технічні характеристики машини в цілому та не викликає порушень нормальної роботи або відмов деталі чи складального з'єднання за нормальних умов експлуатації.

Основним рівнем зносу деталі вважається такий рівень зносу її поверхні, за якого зношування досяга-

ють граничного значення раніше інших видів і виникає потреба в заміні деталі або запчастини в ДВЗ.

Другорядним рівнем зносу вважається будь який інший вид зношування деталей та вузлів, що і досягає граничного значення пізніше типів зносу.

Наприклад, основними видами зносу корінних шийок на колінчастому валу, є овальність і биття окремих шийок відносно осі вала. Саме при такому зношуванні, коли деформація їх поверхні перевищує допустиму величину, виникає потреба в операції шліфування корінних шийок. Поряд з цим зменшення діаметра шийок внаслідок стирання є другорядним зносом.

Прикладом формування зносостійкої поверхневої структури може бути структуроутворення металу при кристалізації поверхні металу в системі виливко-кокіл. В залежності від стадії охолодження вилівка в процесі його формування для опису температурного поля вилівка використовуються розв'язки вище сформульованих задач (Коші чи крайових). Не зупиняючись на деталях, наведемо формули, які описують температурне поле вилівка як функцію просторової координати x та часу t на стадіях зняття перегріву розплаву, кристалізації та охолодження вилівка в кокілі (протягом цих стадій відбувається нагрівання кокілю). Температурне поле вилівка на розглядуваній стадії визначається як розв'язок задачі Коші у функції тільки від змінної t , тобто

$$\theta_1(\tau) = \frac{A}{\omega} + (\theta_{10} - \frac{A}{\omega}) \exp(-\omega\tau),$$

$$A = B_{01}\theta_{01} - B_{21}\theta_c, \quad \omega = B_{21} - B_{01}.$$

Момент часу τ_1 , при якому миттєво залитий у кокіль перегрітий розплав, охолоджуючись у кокілі, досягне температури кристалізації неважко знайти з умови $\theta_1(\tau_1) = 1$:

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega} \ln \frac{\omega\theta_{10} - A}{\omega - A}.$$

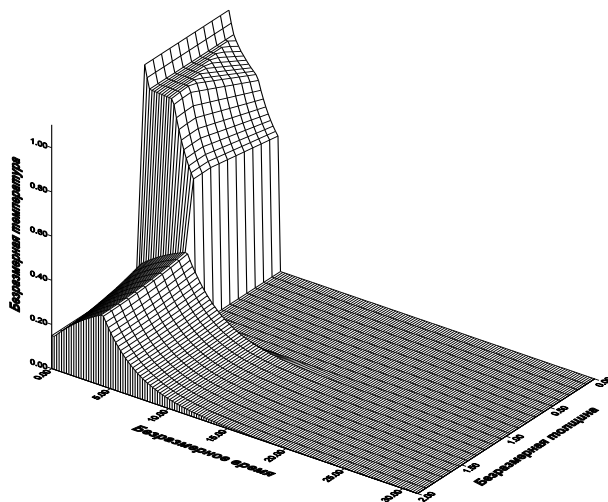


Рис. 1. Температурне поле термодинамічної системи “виливок – кокіль” при температурі виїмки виливка з форми: $T_1 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Розглянемо можливі сучасні способи нанесення покриття при відновленні зношених поверхонь деталей і зробимо короткий їх аналіз.

Аналізуючи запропоновану класифікацію можливих способів нарощування захисного шару на зношені поверхні металічних деталей, компенсуючого зміну геометричних розмірів деталі внаслідок зносу, можна розділити всі способи на дві групи.

Перша група способів забезпечує нанесення на зношені поверхні деталей монолітного шару металу, який утворюється різними способами наплавлення, або використанням гальванічних методів нанесення покриттів.

З приведених джерел [3, 5, 13] відомо, що всі наплавлявальні технології нанесення покриттів на чавунні деталі дуже складні через наявність вільного вуглецю в структурі чавуну і фізико-хімічних властивостей, які сприяють відбілюванню чавуну, утворенню тріщин, пор і ін. дефектів. Застосування електродного дроту ПАНЧ-11 і потоку повітря як захисного середовища при вібродуговому наплавленні підвищують якість наплавленого шару, але ці способи наплавлення не можуть забезпечити необхідну продуктивність відновлення корпусів ПРН.

Друга група передбачує нанесення захисного шару механічним шляхом. Крім власне механічного нанесення існує метод комбінованого нанесення за рахунок тертя самої деталі. [2], електрохіміко-механічного нанесення та геотрибомодифікація як різновид механічного методу.

В аспекті застосування захисних покриттів найчастіше згадується гальванічне та дифузійне (теплове) хромування, що є різновидом антикорозійних покриттів, а також різні методи напилення і нарощування шару металу як варіант в тому числі і методик віднов-

лення. Відповідно захисний шар може бути як однієї природи з металом ствола так і мати інші властивості (своєрідний композит, щоправда цей підхід більше застосовувався для броні). Основною перевагою є довговічність такого покриття, а основними недоліками падіння точності геометрії ствола та необхідність наявності гальванічного цеху. Хромові захисні покриття характеризуються високою зносостійкістю і більшою, в порівнянні з іншими матеріалами твердістю, не менш важливими є дещо нижчий коефіцієнт тертя, а також стійкість до дії хімічно активних речовин здатних провокувати процес ерозії і міцне зчеплення з основним металом. Так, наприклад при процесі обробки світильників хромування є одним з етапів отримання захисних декоративних покриттів, крім цього в ході формування дзеркальних відбивачів даний метод добре підходить для отримання якісної дзеркальної поверхні.

Хромування здійснюють поверх попередньо нанесеного шару мідь-нікель або нікель-мідь-нікель. Товщина шару хрому в такій захисній поверхні зазвичай не перевищує 1 мкм.

Хром характеризується гарним зчепленням з міддю, нікелем, латунню та іншими матеріалами, що є фундаментом для осадження, проте в ході осадження інших металів на хромове покриття постійно фіксується рівень зчеплення, що не задовольняє вимоги до якості покриттів.

У промисловості широко використовують три типи електролітів: концентровані, універсальні і розбавлені (табл. 2). Для виготовлення декоративних покриттів та якісних дзеркальних відбивачів застосовують концентрований електроліт. В ході хромування основною деталлю гальванічного процесу є нерозчинні свинцеві аноди.

Таблиця 2

Склади електролітів для хромування

компоненти	склади електроліту, г / л		
	розбавлений	універсного	усатенкованого
хромовий ангідрид	150	250	350
сірчана кислота	1,5	2,5	3,5
катодна щільність струму, А/дм ²	45–100	15–60	10–30
температура розчину, °С	55–60	45–55	35–45

У ході виробничого процесу концентрація хромового ангідриду в гальванічних ваннах знижується, відповідно відновлення ванн відбувається шляхом щодобового корегування через додавання в них нових об'ємів хромового ангідриду.

Другим типом покриттів, що вже застосовуються є керамічні та металокерамічні. В свою чергу отриманні структури можуть бути як спаяними з поверхнею металу шляхом дифузійного взаємопроникнення, або ж пластичної деформації. Прикладом застосування схеми з зйомники захисними вкладками може бути конструкція тепло ізолюючого шару у кришці для кокілю відцентрового лиття.

Матеріал теплоізолюючого шару здійснює значний вплив на його термодинамічні властивості. При

стиканні з титану ізолюючим шаром може відбуватися поверхнева спайка, що покращує властивості поверхні металічної вкладки за рахунок її укріплення через легування [4].

Введення подібної конструкції дозволить знизити теплопровідність кришки в 1,5–3 раз у залежності від матеріалу ізолятора та зменшити її ціну на порядок, за рахунок зниження кількості металу титану в конструкції. Дана схема може бути використана, для виробництва кришок кокілів, що є елементом конструкцій для лиття поршневих кілець у кокілю, або відцентрового лиття гільз циліндрів двигунів, насосів або компресорів.

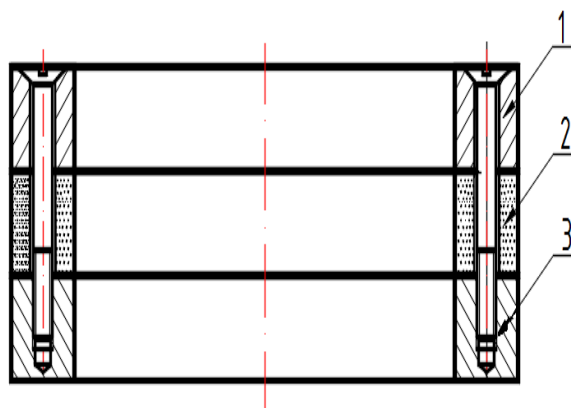


Рис. 2. Схема конструкції кришки кокілю

1 – кришки із сплаву титана; 2 – пористий ізолятор; 3 – штифтовий з'єднувальний вузол.

Виклад основного матеріалу. Можливості метода іонно-плазмового нанесення покриттів дозволяє створювати різноманітні багатошарові та/чи композиційні покриття з загальною товщиною шару до 20 мкм. Випаровуються одночасно чи по черзі катоди з різних тугоплавких матеріалів, їх сплавів та складові катоди, реакційний об'єм вводяться різноманітні активні гази та їх суміші. При цьому формуються шари, кожний з яких виконує певні експлуатаційні функції, з фізико-математичними властивостями, які істотно відрізняються від похідних матеріалів, які утворюють покриття. Мікротвердість, як одна з характеристик, що визначає зносостійкість конденсатів, досягає 18–36 ГПа, в залежності від умов їх отримання та призначення шару.

У роботі досліджувались технологічні варіанти отримання покриттів методом іонно-плазмового напи-

лення та властивостей покриттів в залежності від режимів конденсації. Покриття ($Ti - Zr$) N наносились на зразки пористих вставок комбінованих ливарних кокілів на установці «Булат -3Т». Випаровування матеріалів проводили в середовищі очищеного азоту одночасно з двох катодів: перший – титан 1-0, другий – цирконій Е-110П. Пластины розміщувались на барабані, що обертається перпендикулярно іонно-плазмовому потоку на відстані 240 мм від поверхні випарників.

Постійні параметри режиму іонно-плазмового нанесення покриттів

Висока напруга на підшарку, В – 1100

Тиск газу при очистці у тліючому розряді, Па – 1

Струм дуги випарника, А матеріал катоду

ВТ-1-0 – 90 матеріал катоду Е-110П – 130

Температура нагріву підшарку, °С – 300

Час осадження, хв. – 45

Змінними параметрами режиму були:

- опорна напруга підшарку при значеннях
 - 100 В;
 - 140 В;
 - 180 В.

– тиск азоту в камері при осадженні задавався рівним

$$(2-3) \cdot 10^{-1} \text{ Па};$$

$$(4-5) \cdot 10^{-1} \text{ Па};$$

$$(6-7) \cdot 10^{-1} \text{ Па}.$$

При цьому число можливих варіантів конденсації складало 9.

Оцінку властивостей покриттів виконували по величині мікротвердості, виміряної в перетині косої шліфа при навантаженні на індентор ІН. Додаткова інформація про мікроструктуру шару та стан поверхні отримана за допомогою оптичного мікроскопу «Неофот-21» і електронного мікроскопу Stereoscan.

Мікротвердість шару конденсату ($Ti - Zr$) N в залежності від величини опорної напруги і тиску азоту представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Мікротвердість покриття ($Ti - Zr$) N , ГПа

Тиск азоту, 10^{-1} Па	Опорна напруга, В		
	100	140	180
2–3	Варіант 1 24,0	Варіант 2 22,4	Варіант 3 21,9
4–5	Варіант 4 22,4	Варіант 5 21,8	Варіант 6 21,5
6–7	Варіант 7 21,0	Варіант 8 21,5	Варіант 9 21,8

Дані є середніми величинами по результатам замірів 7–10 точок. Кратність повторення дослідів – 2.

За експериментальними результатами побудовані графіки, що відображають залежність мікротвердості покриттів ($Ti - Zr$) N від тиску азоту при постійній опорній напрузі (рис. 3.1) та залежності мікротвердості покриття ($Ti - Zr$) N від опорної напруги при постійному тиску газу (рис. 3.2).

З цього можна зробити висновок, що мікротвердість композиційного покриття ($Ti - Zr$) N не однакова в усьому діапазоні досліджуваних режимів конденсації. Вона змінюється від мінімального 21,0 ГПа до максимального 24,0 ГПа. Найбільш круто падає характеристика мікротвердості при тиску азоту

$(2-3) \cdot 10^{-1} \text{ Па}$ від 24,0 до 21,9 ГПа и при напрузі 100 В від 24,0 до 21,0 ГПа. При середніх значення параметрів режиму зниження мікротвердості незначне від 22,4 до 21,5 ГПа, а при максимальних вона може навіть трохи підвищуватись.

Максимальному значенню мікротвердості 24,0 ГПа відповідає режим конденсації при напрузі 100 В і тиску азоту $(2-3) \cdot 10^{-1} \text{ Па}$.

На рис. 3.3 на полі режиму схематично представлені області рівної твердості, що дозволяють орієнтуватись при виборі умов осадження для отримання необхідних властивостей покриттів.

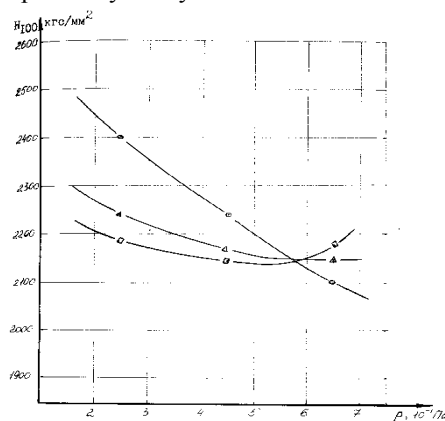


Рис. 3.1. Залежність мікротвердості покриттів ($Ti - Zr$) N від тиску азоту при опорній напрузі на підшарку: Θ – 100 В; Δ – 140 В; Ξ – 180 В.

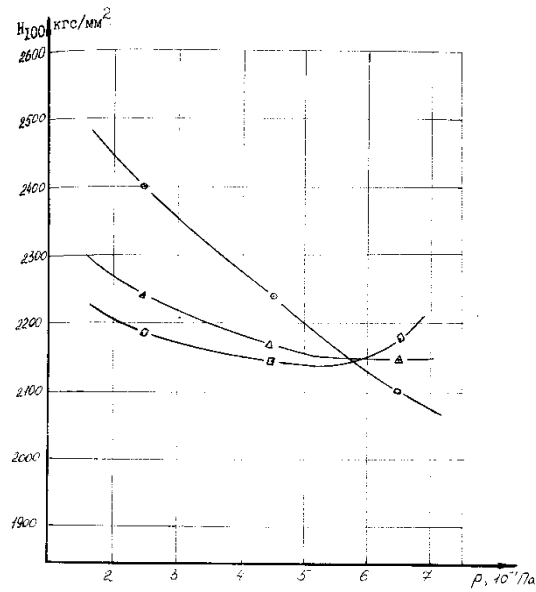


Рис. 3.2. Залежність мікротвердості покриттів ($Ti - Zr$) N від опорної напруги підшарку при тиску азоту:
 $\Theta - 2,5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$; $\Delta - 4,5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$; $\Xi - 6,5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$.

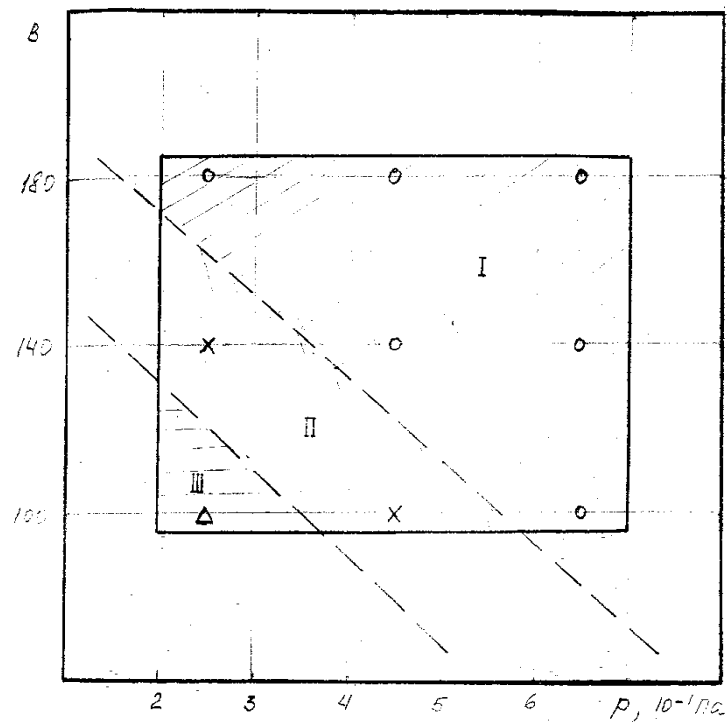
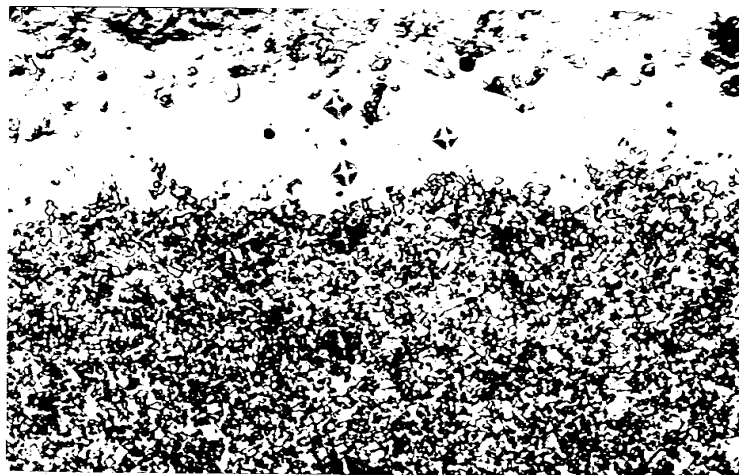


Рис. 3.3. Область режимів рівної мікротвердості покриттів, ГПа;
 I - $H_{100} = 21,0 - 21,9$; II - $H_{100} = 22,0 - 22,4$; III - $H_{100} = 23,0$.

Рис. 3.4 Мікроструктура покриття $(Ti + Zr) N$, $\times 500$

Однак дані про механічні властивості $(Ti + Zr) N$ не дають пояснення отриманих результатів.

Металографічні дослідження мікроструктури шарів $(Ti + Zr) N$ при збільшенні $\times 500$ також не виявили різниці в формуванні покриттів. Для всіх варіантів характерним є отримання рівних, достатньо щільних шарів, пори та значні включення відсутні (рис. 3.4).

Запропонована технологія газотермічного напилювання дозволяють нанести на поверхню форми шар металу або сполук металу товщиною 1–3 мм. Після напилювання можна одержати форму, покриту захисним термічно стійким покриттям, що витримує значну кількість виливків. У той же час вона не викликає проблем з усадкою, деформацією й дозволяє відтворити прототип у дрібних деталях.

Металографічні дослідження графіту в отриманих чавунних заготовках поршневих кілець підтвердили ефективність використання матеріалу композиційної сполуки $90\%Ti+10\%C$ і його пористості $P=0,2...0,22$. Загальна твердість на внутрішній поверхні мала значення 241...269 НВ. При цьому твердість зовнішньої поверхні гільзи, що обробляється різанням, складає 241...269 НВ. На зламі видливка наочний рівномірний розподіл кристалічної структури.

Висновки. Виходячи з викладеного вище, можна зробити ряд висновків:

1. Було визначено та математично виражено основні фактори зносу металічних деталей циліндричної форми. У ході дослідження визначено, що кінематика про-

цесу зношування в двигуні включає значно більше факторів ніж було враховано впродовж експериментальних досліджень. Прийнято до уваги наявний матеріал з удосконалення захисних покриттів металічного і металокерамічного типу для коклів відцентрового лиття.

2. Великий вплив на структуру та властивості термостійких покриттів мають азот, водень, кисень, які зазвичай скрихлюють шари, що утворюються, та знижують міцність їх зчеплення з підшарком. При великих швидкостях конденсації на поверхні пористого Ti ($I_g = 120 A, 150 A$) плівки карбіду титану характеризуються значною вибіркою орієнтацією на поверхні підшарку. Запропонована технологія газотермічного напилювання дозволяє нанести на поверхню форми шар металу або сполук металу товщиною 1-3 мм. Після напилювання можна одержати форму, покриту захисним термічно стійким покриттям, що витримує значну кількість виливків.

3. Металографічні дослідження графіту в чавунних заготовках підтвердили ефективність використання матеріалу композиційної сполуки $90\%Ti+10\%C$ і його пористості $P=0,2...0,22$ при серійному литті у постійні форми. Аналіз характеру розподілу, розміру й форми графітових включень у виливках з дослідних і серійних коклів показує укрупнення графітних включень, їхній рівномірний розподіл, а також усунення міждендритного графіту, що пов'язано зменшенням швидкості кристалізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Andreev V., Klimenko L., Kondratenko Y., Dykhta L., Prichtchepov O. On thermodynamic parameters appropriate choice for improvement of hollow cylindrical casting's fabrication practice under centrifugal casting // Archives of foundry. – Katowice – Gliwice: Foundry Commission Polish Academy of Science, 2006. – Volume 6, №18(2/2). – P. 289–294.
2. Klimenko L., Kondratenko Y., Dykhta L., Andreev V. Mathematical simulation for solidification of the hollow cylindrical casting under centrifugal permanent-mould casting. Polish Academy of Sciences, Branch Katowice. Archives of Foundry, Vol. 3, No. 7, 2003, p. 33–39.
3. Андреев В.И. Алгоритм технологического процесса литья заготовок гильз цилиндров ДВС с повышенной износостойкостью // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Т. 73. Вип. 60. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2007. – С. 51–56.
4. Андреев В.И., Хачатуров Э.Б., Хачатурова И.Н. Новый композиционный материал торцевых крышек изложниц центробежного литья // Тезисы доклада международной научной конференции, 9–17 сент. 2007 г., Натанья (Израиль). – Хмельницкий: ХНУ, 2007. – С. 109–112.

5. Батищев А. Н., Голубев И. Г., Лялякин В. П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники – Москва : Информагротех, 1995. – 296 с.
6. Вульф Б. К. «Термічна обробка титанових сплавів», М. «Металургія» 1969 р.
7. Єременко В.М. Карбід титану і жаростійкі матеріали на його основі., К., вид-во АН УРСР, 1954, 76 с.
8. Кондрачук М. В. Трибологія / М. В. Кондрачук, В. Ф. Хабутель М. І., Пашечко С. В. Корбут. – К. : Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
9. Надежность и ремонт машин / [Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К. А. и др.]. – М. : Колос, 2000. –776 с.
10. Ремонт машин в агропромышленном комплексе / [Юдин М.И., Савин И. Г., Кравченко В. Г. и др.]. - Краснодар: КГАУ, 2000. – 688 с.
11. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография (стереология металлических материалов). – М. : Металлургия, 1976. – 276 с.
12. Термическая обработка титановых и алюминиевых сплавов в вакууме и инертных газах / АН УССР. – К. : Наукова думка, 1987. – 184 с.
13. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учебное пособие / [Черноиванов В. И., Бледных В. В., Северный А. Э., Ольховацкий А.К. и др.]; под ред. В. И.Черноиванова. – Москва –Челябинск : ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 992 с.

Рецензент:

Добровольський В. В., канд. техн. наук, доцент.

Дата надходження статті до редколегії 29.11.2016