

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУННИХ ГІЛЬЗ БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ<sup>6</sup>

Кривенко А.А., студент групи МС-21-22  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Для виготовлення гільзи циліндрів запропоновано використовувати чавун, легований нікелем, хромом, міддю, молібденом, ванадієм, титаном, що забезпечує підвищення зносостійкості. Для підвищення експлуатаційних властивостей внутрішню поверхню гільзи запропоновано піддавати низькотемпературній нітроцементації і тонкому пластичному деформуванню відцентровою обробкою.

**Ключові слова:** сірий чавун, легування, нітроцементація, тонке пластичне деформування.

## INCREASE OF OPERATIONAL PROPERTIES CAST IRON SLEEVES OF CYLINDER BLOCKS

Krivenko A., student of group MC-21-22  
Kharkiv National Automobile and Highway University

**Abstract.** It is proposed to use cast iron alloyed with nickel, chromium, copper, molybdenum, vanadium, and titanium for the manufacture of cylinder liners, which provides increased wear resistance.. To improve operational properties, it is proposed to subject the inner surface of the sleeve to low-temperature nitrocementation and fine plastic deformation by centrifugal treatment.

**Key words:** gray cast iron, alloying, nitrocementing, fine plastic deformation.

### Вступ

Найбільш важливим вузлом для надійної роботи дизельного автомобільного двигуна є циліндро-поршнева група (ЦПГ), деталі якої працюють в умовах високих температур і тисків, тертя, зношування, корозійних впливів. Одна з найбільш навантажених деталей двигуна – гільза циліндра (втулка циліндрів). Для забезпечення тривалої і надійної роботи двигуна гільза циліндрів повинна мати високий рівень експлуатаційних властивостей [1].

### Аналіз публікацій

На долю втулок циліндрів через вплив високих механічних та теплових навантажень припадає значна частина відмов двигунів [1] (рис. 1). Пара гільза циліндра – поршневе кільце працює при нестаціонарних теплових, навантажувальних, швидкісних режимах, масляному голодуванні, дії абразивного та газових середовищ, виникненні мікросхоплювання з різною інтенсивністю руйнування. Такі умови роботи супроводжують незворотні процеси втоми та крихкості, що відбуваються в тонких поверхневих шарах.

У процесі експлуатації двигунів на поверхнях, що труться, протікають складні фізико-хімічні процеси, що призводять до зносу і руйнування їх поверхневого шару, тобто до зміни розмірів та геометрії сполучених деталей. Характер протікання цих процесів, у свою чергу, визначає показники потужності та економічні показники роботи двигуна. Найбільший вплив

---

<sup>6</sup> Робота виконана під керівництвом доцента Лалазарової Н.О.

із зовнішніх факторів на інтенсивне протікання зношування за рахунок мікросхоплювання має наявність змащення та температура в зоні фрикційного контакту. Залежно від властивостей матеріалів та умов тертя цей вид зношування може протікати на атомарному, іонному, субмікро- та макрорівнях з різною інтенсивністю, досягаючи в екстремальному випадку катастрофічної форми – задира [2].



Рисунок 1 – Гільза циліндрів (циліндрова втулка)

Таким чином, виходячи з реальних умов експлуатації двигунів внутрішнього згорання, вимоги до гільз циліндрів можна сформулювати наступним чином: висока механічна, статична та втомна міцність; висока зносостійкість та низький коефіцієнт тертя; корозійна стійкість; технологічність одержання заготовок.

У практиці світового двигунобудування для гільз циліндрів як матеріали застосовуються: у форсованих швидкохідних двигунах сталі марок 35ХМЮА, 38ХМЮА з азотованою поверхнею, сталі 45 або 40Х з хромованою поверхнею; сірі, леговані та високоміцні чавуни та інші матеріали [3]. Чавун краще за інші матеріали задовольняє вимогам, що пред'являються до деталей циліндро-поршневої групи, які працюють в умовах граничного змащування.

Для виготовлення циліндричної заготовки чавунної гільзи циліндрів використовують метод відцентрового лиття, який широко застосовується при отриманні литих заготовок деталей, що мають форму тіл обертання.

Для виготовлення гільз циліндрів використовують сірий нелегований чавун, сірий легований чавун, високоміцний чавун з кулястим графітом. Сірий чавун має добрі ливарні властивості – високу рідкотекучість, яка дозволяє одержувати виливки з товщиною стінок 2 – 3 мм, малу усадку (0,9 – 1,3 %), що забезпечує отримання виливків без пористості, тріщин, усадкових раковин [4].

Для деталей, що виготовлені з сірого чавуну, характерні високі антифрикційні властивості (наявність графіту покращує умови змащення при терті). А сірий чавун з перлітною матрицею має також досить високу міцність. З усіх видів чавунів сірий має найнижчу вартість.

Залежно від умов роботи двигуна, його конструкції та навантаженості для виготовлення гільз застосовують низьколегований чавун наступних складів:

а) Гільзи автомобільних карбюраторних двигунів машин середньої навантаженості відливають з низьколегованого чавуну, що містить 0,3-0,5 % Cr, 0,2-0,3 % Ni, до 0,6 % Cu, 0,3-0,6 % Mo, 0,1-0,6 %.

б) Гільзи для форсованих карбюраторних двигунів важконавантажених машин, а також для дизельних двигунів відливають із низьколегованого чавуну з більш високим вмістом легуючих елементів. Склад чавуну відрізняється при цьому підвищеним вмістом таких легуючих елементів як хром (до 1,5 %), молібден (до 1,0 %), фосфор (до 0,9 %).

в) Високолегований сірий чавун. Для суттєвого підвищення зносостійкості гільз циліндрів автомобільних карбюраторних двигунів часто застосовують аустенітний чавун. Широке застосування знайшов аустенітний нікельмедисто-хромистий чавун типу нирезист.

Найбільше використання знаходять низьколеговані чавуни.

Таким чином на основі проведеного аналізу для гільзи циліндрів дизельних двигунів автомобілів можна рекомендувати сірий низьколегований чавун з пластинчастим графітом.

Незважаючи на постійне вдосконалення конструкцій двигунів, технології їх виробництва та ремонту, питання підвищення зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи продовжують цікавити дослідників та практиків. Поверхнєве зміцнення здійснюють: поверхневим індукційним гартуванням, лазерною обробкою, лазерним легуванням, хромуванням, плазмовою обробкою та іншими методами [5]. Більшість зміцнювальних технологій потребує для свого здійснення нагріву до відносно високих температур, результатом чого є небажані структурні зміни матеріалу виробів, які найчастіше супроводжуються значними об'ємними ефектами, що зрештою погіршує якість металу і призводить до змін геометричних розмірів оброблюваних виробів. При реалізації зазначених методів зміцнення неминуче зростають додаткові енерговитрати та подовжуються процеси термічної та термохімічної обробки.

### **Мета роботи і завдання**

Метою роботи є підвищення експлуатаційних властивостей гільз циліндрів з сірого чавуну, що працюють в умовах високих температур і тисків, тертя і корозійного впливу, легуванням, хіміко-термічною обробкою і тонким поверхневим пластичним деформуванням.

Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- вивчення умов роботи чавунної гільзи циліндрів двигунів дорожньо-будівельних машин, особливостей процесу її зношування;
- аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів із сірого чавуну;
- вибір хімічного складу чавуну;
  - дослідження структури і властивостей поверхневого шару після нітроцементзації;
  - дослідження впливу фінішного пластичного деформування внутрішньої поверхні гільзи на якість.

### **Матеріал і методи дослідження**

Для гільзи дизельного двигуна обрали низьколегований чавун наступного складу, %: С 3,0...3,4; Si 1,9...2,1; P до 0,1; Mn 0,7...0,9; Cr 0,45...0,60; Ni 0,20...0,40; Mo 0,25...0,45; Cu 0,5...0,8; V 0,05...0,15; S до 0,12, Ti 0,1...0,2. Хімічний склад визначали на портативному лазерному аналізаторі Laser Z200 C+.

Дослідження мікроструктури чавуну проводилися на оптичному цифровому мікроскопі.

Макротвердість вимірювали на твердомірі Роквелла за шкалою «С», мікротвердість – на мікротвердомірі ПМТ-3 алмазною чотиригранною пірамідою і навантаженням 50 г.

Нітроцементацію здійснювали в шахтній електропечі СШЦМ-6.10/11 в рідкому середовищі тріетаноламіну –  $(C_2H_4OH)_3N$ . Тріетаноламін при температурі вище 500 °С розкладається з виділенням метану, ціаністого водню, окису вуглецю і водню.

Зразки з чавуну для нітроцементзації завантажували в піч, яку нагрівали до 560 °С, після нагріву починали подавати тріетаноламін. Час видержки при цій температурі – 4 години. Після охолодженні печі до 350 °С тріетаноламін закінчували подавати і зразки виймали з печі.

## Результати дослідження

На основі аналізу хімічного складу сірих чавунів, які використовуються для виготовлення гільз циліндрів дизельних двигунів, запропонований комплексно легований сірий чавун підвищеної зносостійкості. Такі елементи, як V, Mo, Cr, Ti сприяють формуванню зносостійких карбідів. Включення міді до комплексу легуючих елементів дозволяє нейтралізувати відбілюючий вплив V, Mo, Cr. Мідь, утворюючи твердий розчин заміщення, легує ферит. У міру його зміцнення зростає твердість та міцність чавуну.

Мікроструктура сірого чавуну в литому стані складається з дрібнопластинчастого перліту, фериту, невеликих ділянок подвійної фосфідної евтектики (рис. 1) і включень пластинчастого графіту середньої величини завихреної форми – ПГф2.

Мікротвердість перліту  $H_{50}=1550-2220$  МПа.

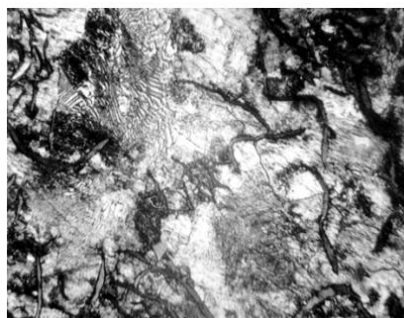


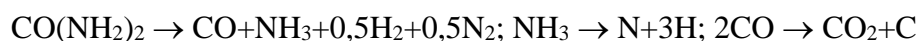
Рисунок 1 – Мікроструктура чавуну в литому стані,  $\times 300$

З вищевикладеного стають очевидними переваги низькотемпературних процесів поверхневого зміцнення. Через малу дифузійну рухливість елементів при знижених температурах до уваги можуть прийматися лише методи насичення такими елементами, які проникають у металеву основу не тільки дифузійним, а й реакційним шляхом, утворюючи сполуки між атомами основи та атомами поверхнево-легуючого елемента. У цьому випадку йдеться перш за все про азот та вуглець, які здатні навіть при температурі нижче  $600$  °C утворювати із залізом та іншими легуючими елементами, що входять до складу сталі або чавуну, сполуки у вигляді карбідів, нітридів, карбонітридів.

В наступний час все більше знаходять використання комбіновані методи поверхневого зміцнення. Давно використовується в промисловості азотування гільз циліндрів. Однак азотований шар має підвищену крихкість. В роботі зразки сірого чавуну було запропоновано піддавати низькотемпературній нітроцементації [5].

Нітроцементацію деталей проводили при температурі  $540 - 600$  °C і тиску  $3-7$  атм протягом  $50-60$  хв в герметичній реторті, яку завантажують в піч таким чином: реторти з хімічним реактивом і оброблюваними деталями знаходиться в нагрівальній зоні печі, а кришка реторти поза нею, причому робочий відсік обмежений зовнішньою і хоча б однією внутрішніми стінками реторти.

При нітроцементації деталей із сірого чавуну з використанням в якості хімічного реактиву, наприклад, карбаміду ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), відбувається одночасне насичення чавуну азотом і вуглецем, що утворюються в результаті піролізу карбаміду та дисоціації аміаку:



Виконуючи процес при температурі 540-600 °С і підвищуючи, в порівнянні з атмосферним, надлишковий тиск до 3-7 атм в середовищі піролізу карбаміду, сприяють інтенсифікації абсорбційних процесів на поверхні оброблюваних деталей, на якій відбувається більш інтенсивне зростання концентрації насичуючого елемента, що сприяє збільшенню градієнта концентрації та відповідно прискоренню дифузійних процесів. При підвищенні тиску насичувального середовища збільшується розчинність азоту в металі, внаслідок чого прискорюється процес утворення збідненої азотом зони внутрішнього азотування та уповільнюється формування збагачених азотом нітридних та карбонітридних зон на основі  $\gamma'$ -фази, яка являє собою твердий розчин на базі нітриду  $\text{Fe}_4\text{N}$ , і  $\epsilon$ -фази на базі карбонітриду  $\text{Fe}_2\text{-}_3(\text{N,C})$ . В результаті ізотермічної видержки в поверхневих шарах деталей формується дифузійний шар з розширеною зоною внутрішнього азотування на основі  $\alpha$ -фази (це твердий розчин азоту в  $\alpha$ -Fe) з окремими нітридними та карбонітридними включеннями заліза та легуючих елементів глибиною 120-150 мкм і звуженою до 2-4 мкм у поверхні деталі і проникаючою уздовж пластинчастих графітових включень нітридною зоною на основі  $\gamma'$ -фази, що призводить до підвищення зносостійкості деталі.

Мікроструктура зміцненого шару наведена на рис. 2. На поверхні добре видний світлий шар, що містить нітридні та карбонітридні включення заліза та легуючих елементів, які мають добрий опір зносу і менш крихкі, ніж чисті карбіди  $\text{Fe}_3\text{C}$  або нітриди  $\text{Fe}_2\text{N}$ .



Рисунок 2 – Мікроструктура нітроцементованого шару на сірому чавуні,  $\times 200$

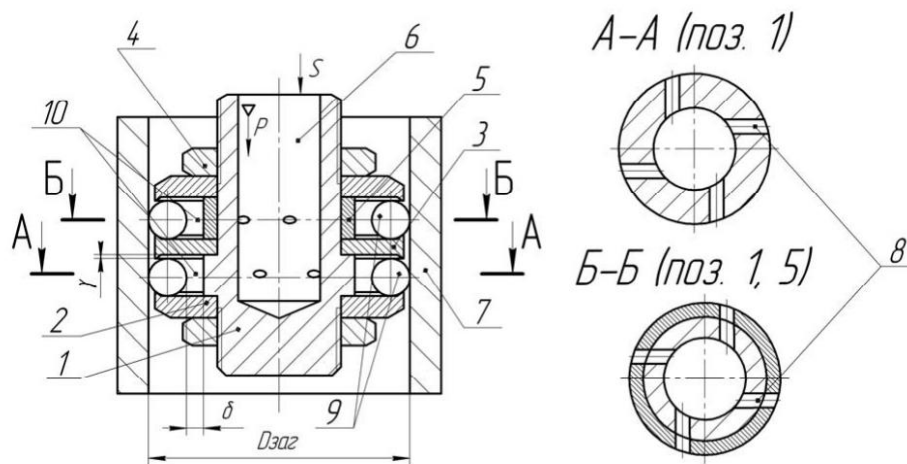
При заданих умовах низькотемпературної нітроцементатації глибина зміцненого шару досягає 0,12–0,15 мм. Мікротвердість зміцненого шару  $H_{50}=6870-7340$  МПа. Шар, який утворився після нітроцементатації не має пористості на відміну від пїу, який формується при азотуванні.

Низькотемпературна нітроцементатація має ряд переваг перед азотуванням: суттєво підвищує твердість поверхневого шару за рахунок утворення карбонітридів, більша швидкість процесу насичення шару (при однаковій температурі) через активуючу дію азоту, менш крихкий зміцнений шар, висока втомна міцність, висока задиростійкість, практично відсутнє короблення виробів. Корозійна стійкість нітроцементованого сірого чавуну в 10 разів вище корозійної стійкості литого сірого чавуну [6].

У вирішенні проблеми зменшення витрат палива, підвищення зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигуна, а в цілому підвищення ресурсу роботи та надійності дизеля, велике значення має технологічне забезпечення покращення якості виготовлення гільзи. Технологічне забезпечення якості поверхні деталі суттєвим чином впливає на її експлуатаційні властивості, що у свою чергу, залежать від мікро- та макрорельєфу поверхні. В роботі було запропоновано замість хонінгування, що застосовується, проводити тонке

пластичне деформування сталевими кулями за допомогою зміцнюючої відцентрової обробки (ЗВО) [7].

Особливість процесу ЗВО полягає в тому, що сталеві кулі (індентори) впливають на оброблювану поверхню під дією струменів стисненого повітря, перебуваючи в кільцевому вихровому потоці і здійснюючи вільні віброколивання при їх круговому обертальному переміщенні щодо поздовжньої осі заготовки (рис. 3). При цьому відбувається деформаційне зміцнення поверхні на дуже малу величину ( $\leq 0,06$  мм) (що дуже важливо для нормальних умов роботи пари сухого і напівсухого тертя гільза-поршневе кільце), створюючи оптимальні (рівноважні) умови шорсткості поверхні (рис. 4). Більше того, процес стає переважним для фінішної обробки не жорстких деталей, якою є гільза ДВЗ, не погіршується макроегеометрія гільзи, отримана на операції напівчистового хонінгування.



1 – корпус; 2, 3 – диски; 4 – гайки; 5 – втулка; 6 – осьовий канал; 7 – гільза блоку циліндрів; 8 – тангенційні сопла; 9 – кулі; 10 – камера розширення

Рисунок 3 – Схема інструменту для зміцнюючої ЗВО гільз ДВЗ [7]

Локальний короткочасний вплив деформуючих куль у режимі автоколивального руху на мікронерівності в різних напрямках, згідно дислокаційної теорії, сприяє збільшенню площин ковзання в блоках в різних напрямках і зменшенню опору розвитку джерел деформації.

В результаті цього поверхня виходить не розпушеною, а щільною. Мікротріщини як концентратори напружень, отримані на попередній операції (хонінгування), будуть «заліковуватися».

Запропоновано проводити обробку пластичним деформуванням замість чистового хонінгування після зміцнюючої обробки. Режими процесу ЗВО: тиск стисненого повітря на вході в осьову порожнину інструменту  $P = 0,25 \dots 0,35$  МПа, хвилинна подача  $s_{\text{хв}} = 100 \dots 150$  мм / хв, кількість ходів інструменту  $i = 1$ .

Шорсткість поверхні гільз після зміцнюючої ЗВО склала до  $Ra = 0,63 - 0,32$  мкм, а відносна опорна довжина профілю  $tr_{50} = 85$  %, що відповідає технічним вимогам.

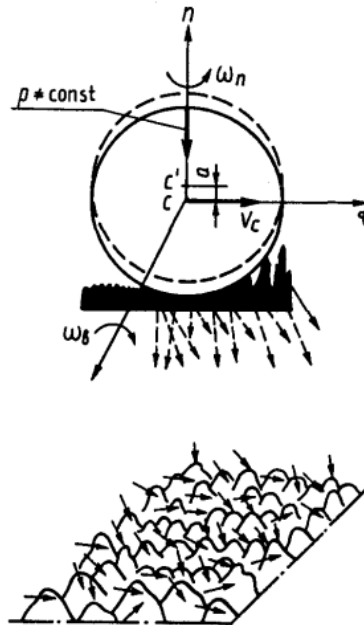


Рисунок 4 – Схема силового впливу деформуючих елементів на вихідний мікрорельєф при ЗВО [7]

Мікропрофіль, створений ЗВО, згідно літературним даним, забезпечує високу маслоємність робочої поверхні на рівні  $0,008 - 0,041 \text{ мм}^3 / \text{см}^2$  [2].

Результати випробувань зносостійкості зразків чавуну в литому стані та після нітроцементації і фінішного зміцнення поверхневим пластичним деформуванням наведені в табл. 1.

Чавун в литому стані після нітроцементації та ЗВО має високу зносостійкість, що забезпечується високою твердістю нітридних та карбонітридних включень, та фінішною обробкою, яка створює спеціальний мікрорельєф.

Таблиця 1 – Зносні випробування в залежності від стану сірого чавуну

Номер зразка і стан чавуну	Втрата маси, г
Сірий чавун в литому стані після ЗВО	12,21
Сірий чавун в литому стані після нітроцементації та ЗВО	0,25

Хіміко-термічна обробка – нітроцементація – суттєво збільшує зносостійкість виробів із сірого чавуну в поєднанні з фінішним тонким пластичним деформуванням. Високу ефективність нітроцементації можна пояснити наявністю твердих та зносостійких нітридних та карбонітридних фаз. Недоліком нітроцементації є мала товщина зміцненого шару, а перевагою - підвищення корозійної стійкості.

## Висновки

1. Гільза циліндра працює при нестационарних теплових, навантажувальних, швидкісних режимах, масляному голодуванні, дії абразивного та газових середовищ, виникненні мікросхоплювання з різною інтенсивністю руйнування, що супроводжують незворотні процеси втоми та крихкості, які відбуваються в тонких поверхневих шарах.

2. Виходячи з умов роботи гільза циліндрів повинна мати: високу механічну, статичну та втомну міцність; кавітаційну та термоциклічну стійкість; високу зносостійкість та низький коефіцієнт тертя; корозійну стійкість.

3. Для виготовлення гільзи двигуна запропоновано використовувати низьколегований сірий чавун, який містить нікель, хром, мідь, молібден, ванадій, титан.

4. Низькотемпературна нітроцементация і тонке пластичне деформування підвищує твердість і зносостійкість. Висока зносостійкість пояснюється наявністю нітридних та карбонітридних включень, які мають високу твердість, та збереженням включень фосфідної евтектики.

## Література

1. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згорання: навч. посіб. Миколаїв : видавець Торубара В.В., 2018. 152 с.

2. Чабанний В. А. Ремонт автомобілів : навчальний посібник. Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2007. 348 с.

3. Матеріали різного призначення, їх обробка та властивості / С. С. Дяченко. І. В. Дощечкіна, І. В. Пономаренко, С. І. Бондаренко; за ред. проф. С. С. Дяченко. Х. : ХНАДУ, 2016. 348 с.

4. Скобло Т. С., Сідашенко О. І., Сайчук О. В. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: монографія / Під ред. д.т.н. проф. Скобло Т.С. Х : Діса плюс, 2019. 282 с.

5. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник з вибіркової компоненти "Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування" для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальностей 131 Прикладна механіка усіх форм навчання. / Уклад. С.П. Гожій. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 104 с.

6. W. Dal'Maz Silva, J. Dulcy, J. Ghanbaja, A. Redjaïmia, G. Michel, S. Thibault, T. Belmonte. Carbonitriding of low alloy steels: mechanical and metallurgical responses. Preprint submitted to Materials Science and Engineering A. August 31, 2016. P. 1-11.

7. Бутаков Б. І., Артюх В. О. Аналіз стану підвищення зносостійкості деталей машин за допомогою поверхневої пластичної деформації. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2005. №4. С. 166-173.