

УДК 621.78:621.431.3-222

Л.П. КЛИМЕНКО, В.І. АНДРЕЄВ, О.Ф. ПРИЩЕПОВ

*Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕРМОЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ ВИЛИВКІВ ГІЛЬЗ З РІЗНИМ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРОПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ

З метою вирівнювання епюри зносу гільзи циліндра ДВС розглянуті режими охолодження внутрішньої поверхні відцентрового відливання в евтектоїдному інтервалі температур, а саме - для отримання ливарної дрібноплантинчастої перлітової структури підвищеної зносостійкості в зоні верхнього бурту гільзи в 4..6 разів збільшують інтенсивність тепловідведення шляхом диференційованої подачі рідкого холодоагенту. Мета дослідження – перевірити ефект від зміцнення внутрішньої поверхні гільзи на виливках з різним хімічним складом. З напрацюванням на стенді більше 100 мото-годин різниця в інтенсивності зношування термічнозагартованих та комплекснолегованих гільз стає більш наявною.

**Ключові слова:** гільза циліндру, чавун, відцентрове лиття, розподіл графіту, кероване охолодження, високодисперсний перліт, зносостійкість.

### Вступ

Аналіз технологій зміцнення гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів показав, що коригування хімічного складу, модифікування чавуну або термічна обробка заготовок досить дорогі і не завжди приводять до підвищення ресурсу.

### 1. Формування проблеми

Підвищення зносостійкості гільз, що відливаються з чавуну марки СЧ 20, можливо досягати за рахунок управління технологією лиття та без застосування загартування, оскільки кращі зносостійкі властивості в сірому чавуні характерні для дрібнодисперсного перліту в литому стані. Для отримання зносостійкої структури чавуну авторами пропонується проведення диференційованого в часі й у просторі, постійно керованого теплового впливу на відцентровий вилівок гільзи, а саме, прискорене охолодження в інтервалі температур евтектоїдного розпаду аустеніту – 750...700 °С.

### 2. Вирішення проблеми

Сутність запропонованої технології полягає в тому, що штучне прискорене охолодження внутрішньої поверхні виливка починають при досягненні їм температури 950...900 °С і проводять зі швидкістю 1...5 °С/с, шляхом продування його стисненим повітрям під тиском 0,25...0,30 МПа, до температури

800...750 °С, після чого від температури 800...750 °С до 550...400 °С в зоні верхнього бурта гільзи охолоджують заготовку зі швидкістю 15...20 °С/с, шляхом упорскування технічної води на внутрішню поверхню. При цьому тепловий потік повинен складати 900...1200 кВт/м<sup>2</sup>, що збільшує інтенсивність тепловідведення в 4...6 разів. Швидкість охолодження нижньої частини заготовки залишається незмінною, тобто 1...5 °С/с. Температура вибивання заготовки з ливарної форми складає 450...400 °С. Згодом протягом 30...40 хвилин відбувається ізотермічна витримка виробу в коробі для зняття ливарних напруг. Запропонована технологія дозволяє наблизити епюру зносу гільзи циліндра до прямолінійної [1].

Термічній обробці піддавалися відцентрові виливки з чавуну СЧ 20 та сплаву легованого Cr-Cu-V. Підвищення швидкості охолодження виливка з чавуну СЧ 20 в евтектоїдному інтервалі температур істотно підвищує дисперсність перліту. Якщо на мікрошліфі серійного зразка відстань між пластинками цементиту знаходиться в межах 0,5...0,8 мкм (П<sub>д</sub>0,5), то в зразків термооброблених гільз циліндрів воно не перевищує 0,3 мкм (П<sub>д</sub>0,3), що грає важливу роль в процесі поліпшення антифрикційних якостей гільз циліндрів ДВС Твердість на внутрішній поверхні зміцнених виливків в районі ВМТ стабільно перевищує на 30...50 НВ твердість серійних заготовок [2].

Підвищення в чавуні вмісту Cr до 0,9...1,0 % при виплавках суттєво знижує інтенсивність графітизації та сприяє утворенню складних карбідів і під-

вищенню гетерогенності структури. Мідь та нікель збільшують дисперсність перліту, сприяють створенню у вузлі тертя режиму «вибірною переносу». Легування ванадієм розкислює сплав і підвищує щільність виливка. створює структуру аустенітної матриці з високотвердими вкрапленнями карбідів VC, що утворюють ізольовані включення.

Об'єктивну оцінку ефективності розробленої технології отримано за допомогою прискорених стендових випробувань на ресурс деталей циліндропоршневої групи тракторних дизелів марки СМД-14. Мета дослідження – перевірити ефект від зміцнення внутрішньої поверхні гільзи на виливках з різним хімічним складом. Авторам проведено порівняльну оцінку зносостійкості гільз циліндрів, що отримували відцентровим литвом в кокіль з чавуну марки СЧ 20 з хімічним складом (мас. %): С – 3,2; Si – 2,25; Mn – 0,75; Cu – 0,30; Cr – 0,45; Ni – 0,18; P – 0,07; S – 0,07 (твердість серійних гільз в районі ВМТ – 220 НВ, а термооброблених гільз в районі ВМТ – 260 НВ), та гільз, що в своєму хімісоставі мали підвищений вміст хрому, кремнію, міді, нікелю та ванадію (мас. %): С – 3,70; Si – 2,85; Mn – 0,75; Cu – 0,95; Cr – 0,85; Ni – 0,25; V – 0,17; P – 0,06; S – 0,07 (твердість серійних гільз в районі ВМТ – 225 НВ, а термозміцнених гільз в районі ВМТ – 255 НВ).

Під час випробувань стенд був укомплектований дизелем СМД-14 (заводський № 10481), що

серійно випускався, а також усіма приладами згідно ГОСТ 18509-80. Тиск палива в усіх форсунках – 17...18 МПа і контролювався через кожні 5 годин. Кількість присадки АЛП-4Д, що утворює абразив  $Al_2O_3$ , складало 0,9 % від маси палива. Випробування проводилися в три етапи: два етапи по 20 годин напрацювання і один етап з напрацюванням 28 мо-тогодина.

Після кожного етапу дослідні та серійні гільзи мінялися місцями в циліндрах.

Працездатність і екологічність двигуна, обумовлюється станом поверхні гільзи циліндра протягом всього періоду експлуатації, оскільки герметичність камери згорання суттєво залежить від технічного стану пари тертя "гільза - кільце" та інтенсивності зростання проміжків між деталями циліндропоршневої групи. Мікрогеометрія поверхні деталей циліндропоршневої чинить значний вплив і на гідромеханічні характеристики сполучення "гільза - кільце": на витрату масла на чад, на втрати, пов'язані з опором руху поршня на мастильному шарі, на рівень шуму.[3, 4]

Авторами досліджувався профіль мікрогеометрії поверхні вздовж головної діагоналі по ділянці гільзи. Мікрогеометрія робочої поверхні гільзи термічно зміцненої за технологією авторів та без додавання мікро легуючих елементів після 70 годин напрацювання з присадкою АЛП-4Д, представлена на рис. 1.

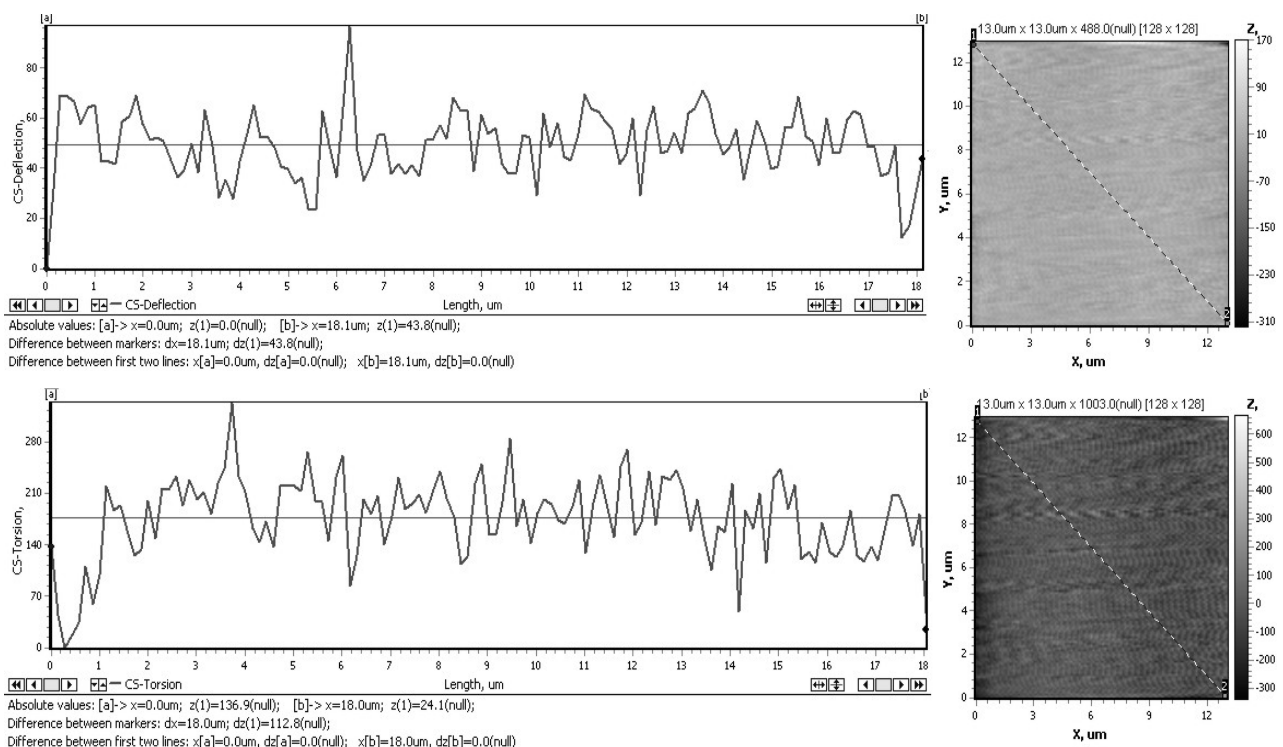


Рис. 1. Профіль мікрогеометрії поверхні по ділянці термічно зміцненої гільзи дизеля СМД-14 (без додавання мікролегуючих елементів) після напрацювання на стенді 70 годин з присадкою АЛП-4Д

На профілографі відзначаємо відсутність структурної стовпчастості та включень цементиту, рівномірний розподіл дисперсних графітних включень і наявність дрібнодисперсних включень зміцнювальної фази, що дозволяє одержувати високі механічні властивості та зносостійкість.

З напрацюванням на стенді більше 100 мотогодин різниця в інтенсивності зношування термічнозагартованих та комплекснолегованих гільз є більш наявною. Це доводить, що протизношувальні

властивості термічнозміцненого чавуну мають не поверхневий характер, а зберігаються при великих значеннях зносу.

Мікрогеометрія робочої поверхні по ділянці гільзи дизеля СМД-14, що в своєму хімічному складі мали підвищений вміст хрому, кремнію, міді, нікелю та ванадію (мас. %): С – 3,70; Si – 2,85; Mn – 0,75; Cu – 0,95; Cr – 0,85; Ni – 0,25; V – 0,17; P – 0,06; S – 0,07, після напрацювання на стенді 70 годин з присадкою АЛП-4Д представлена на рис. 2.

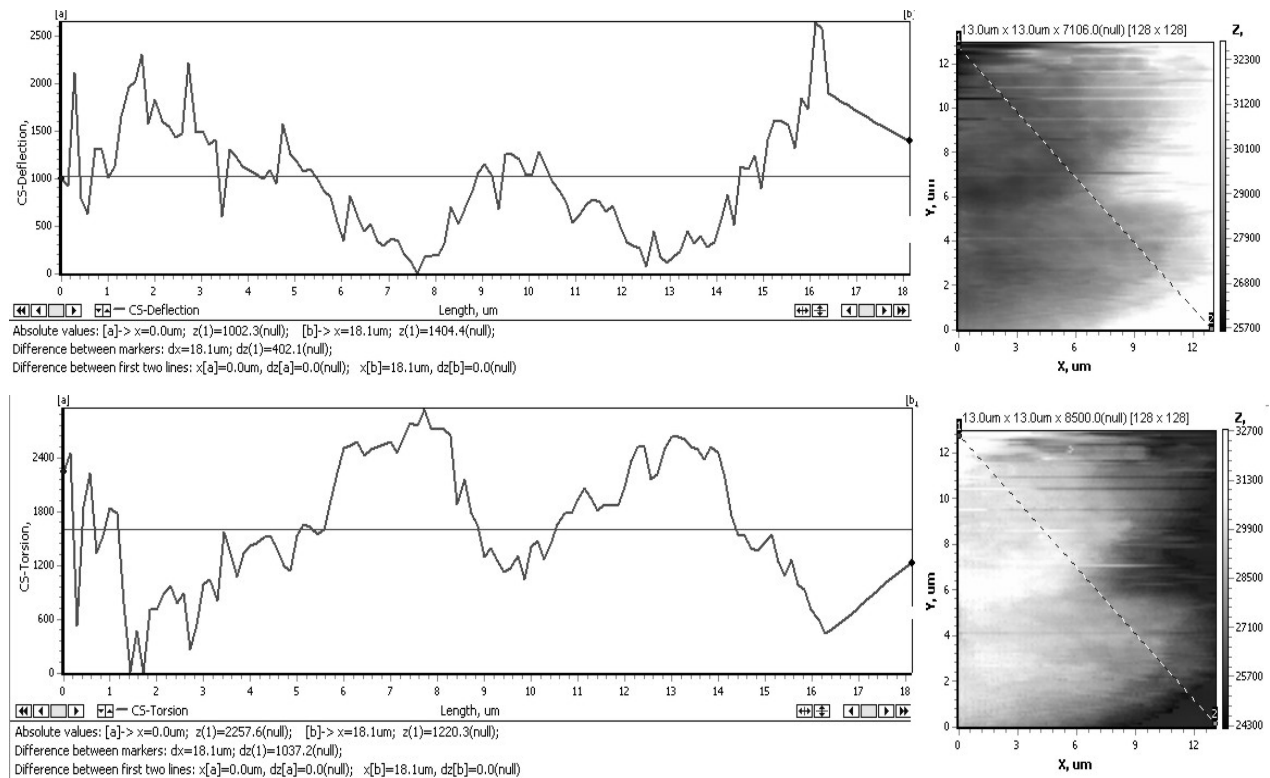


Рис. 2. Профіль мікрогеометрії поверхні по ділянці гільзи дизеля СМД-14 з підвищеним вмістом Cr, Si, Cu, Ni та V (мас. %): С – 3,70; Si – 2,85; Mn – 0,75; Cu – 0,95; Cr – 0,85; Ni – 0,25; V – 0,17; P – 0,06; S – 0,07) після напрацювання на стенді 70 годин з присадкою АЛП-4Д

Порівняння параметрів профілів мікрогеометрії поверхні визначеної ділянки гільзи дизеля СМД-14 вздовж головної діагоналі по ділянці проведемо у вигляді таблиці (табл. 1).

Комплексне легування чавуну найбільше підвищує стійкість аустеніту в області бейнітного перетворення в порівнянні з вихідним; температура мартенітного перетворення при цьому знижується на 30...40 °С. Ці фактори поліпшують міцнісні властивості робочого шару за рахунок збільшення кількості дрібногочастих продуктів перетворення аустеніту і, отже, підвищення властивостей матриці чавуну [5].

Досліджувані легуючі елементи і їх комплекси підвищують зносостійкість чавуну для циліндрових

гільз. Перліт у легуваному чавуні більш дисперсний, у структурі спостерігалася значна кількість тугоплавких і твердих часток.

Дисперсність, а також мікротвердість карбідів і продуктів перетворення аустеніту в чавуні дослідних гільз циліндрів на 15...30 % вищі, ніж у виливках поточного виробництва.

Середні значення мікронерівностей на ділянці, Ra та Rq, максимальна розбіжність висот мікронерівностей для гільзи дизеля СМД-14, що в своєму хімічному складі мають підвищений вміст хрому, кремнію, міді, нікелю та ванадію вдвічі перевищують значення для робочої поверхні гільзи термічно зміцненої за технологією авторів та без додавання мікролегуючих елементів.

Таблиця 1

Порівняльні параметри профілів мікрогеометрії поверхні визначеної ділянки гільзи дизеля СМД-14 вздовж головної діагоналі по ділянці

Параметри профілів мікрогеометрії поверхні визначеної ділянки	Термічно загартована гільза дизеля СМД-14	Гільза дизеля СМД-14 з підвищеним вмістом Cr, Si, Cu, Ni та V
Середні значення мікронерівностей на ділянці, Ra, нм	43,614	95,0
Середні значення мікронерівностей на ділянці, Rq, нм	53,91	171,536
Максимальна розбіжність висот мікро нерівностей, Zmean, нм	106,75	205,688
Умовна площа поверхні, S <sub>ном</sub> , мкм <sup>2</sup>	157,2	169,0
Повна площа поверхні, S <sub>пов</sub> , мкм <sup>2</sup>	155,458	171,536
Відношення, S <sub>ном</sub> / S <sub>пол</sub>	1,011	0,985
Відносна непаралельність ділянки поверхні, L <sub>x</sub>	0	0
Відносна непаралельність ділянки поверхні, L <sub>y</sub>	0,022	0,013
Характер мікронерівностей: періодичний (середній період <P <sub>x</sub> >), нм	280	330

### Висновки

1. Результатами дослідження доводиться, що для отримання зносостійкої дрібнопластинчастої перлітної структури чавуну гільзи циліндра двигуна необхідно проведення диференційованого в часі й у просторі, постійно керованого теплового впливу на відцентровий виливок, а саме – сповільнена кристалізація та охолодження в евтектичному інтервалі температур 1180...1120 °С і прискорене охолодження в евтектоїдному інтервалі температур 750...700 °С.

2. Запропоновано нову технологію охолодження виливків, яка включає продування внутрішньої поверхні гільзи стисненим повітрям в інтервалі температур 900...750 °С, з наступним дошуванням внутрішньої поверхні порожнинного циліндричного виливка холодоагентом (технічною водою) з тепловим потоком 900...1200 кВт/м<sup>2</sup> в інтервалі температур 750...700 °С. При цьому холодоагент необхідно подавати тільки в зону найбільшого зношування гільзи. Доведено, що малими енергетичними та матеріальними витратами можна отримувати позитивний результат.

3. Металева матриця зміцнених гільз складається із сорбітоподібного перліту (Пт1–П–Пд0,3), окремих включень подвійної фосфідної евтектики (ФЭп2000), незначних включень цементиту (П96–Ц2) та малих зерен фериту (П98–Ф0).

4. З напрацюванням на стенді більше 100 мотогодин різниця в інтенсивності зношування тер-

мічнозагартованих та комплекснолегованих гільз є більш наявною. Це доводить, що протизношувальні властивості термічнозміцненого чавуну мають не поверхневий характер, а зберігаються при великих значеннях зносу.

### Література

1. Андреев В.И. Технологические пути реализации теории переменной износостойкости при отливке чугуновых заготовок в двигателестроении / В.И. Андреев, Л.П. Клименко, О.Ф. Прищепов // *Авиационно-космична техніка і технологія*. – Х.: ХАІ, 2003. – Вип. 5 (40). – С. 130-134.
2. Андреев В.И. Особенности формирования износостойкой структуры чугуна гильз цилиндров транспортных двигателей / В.И. Андреев, Л.П. Клименко, Л.М. Дыхта // *Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник*. – К: НАУ, 2008. – № 49 (т. 1). – С. 258-269.
3. Григорович В. Твердость и микротвердость металлов / В. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
4. Долецкий В.А. Увеличение ресурса машин технологическими методами / В.А. Долецкий. – М.: *Машиностроение*, 1972. – 187 с.
5. Андреев В.И. Структурообразование в чугуне гильз ДВС при различных скоростях прохождения эвтектоидного превращения / В.И. Андреев, Л.П. Клименко, О.Ф. Прищепов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 8 (55). – С. 18-20.

.Поступила в редакцию 1.06.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной та вищої математики Л.М. Дихта, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, Миколаїв.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОУПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ОТЛИВОК ГИЛЬЗ  
С РАЗНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ  
ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ**

*Л.П. Клименко, В.И. Андреев, О.Ф. Прищепов*

С целью выравнивания эпюры износа гильзы цилиндра ДВС рассмотрены режимы охлаждения внутренней поверхности центробежной отливки в эвтектоидном интервале температур, а именно - для получения литейной мелкопластинчатой перлитной структуры повышенной износостойкости в зоне верхнего бурта гильзы в 4...6 раз увеличивают интенсивность теплоотвода путем дифференцированной подачи жидкого хладагента. Цель исследования - проверить эффект от упрочнения внутренней поверхности гильзы на отливках с разным химическим составом. С наработкой на стенде больше 100 мото-часов разница в интенсивности изнашивания термоупрочненных и комплекснолегированных гильз становится более очевидной.

**Ключевые слова:** гильза цилиндра, чугун, центробежное литье, распределение графита, управляемое охлаждение, высокодисперсный перлит, износостойкость.

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF TREATMENT OF FOUNDINGS  
OF SHELLS WITH DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION  
ON WEARPROOFNESS DETAILS OF ENGINES**

*L.P. Klymenko, V.I. Andreev, O.F. Prischepov*

With the purpose of smoothing of epure of wear of shell of cylinder diesel modes of cooling of internal surface of the centrifugal founding in the eutectoid interval of temperatures, namely - for the receipt of casting pearlitic structure of enhanceable wearproofness in the area of overhead clamp of shell in 4...6 increase intensity of heatsink by the differentiated serve of liquid water. Research purpose - to check up an effect from work-hardening of internal surface of shell on foundings with different chemical composition. With work on a stand more than a 100-hours difference in intensity of wear of workhardened and shells becomes more obvious.

**Keywords:** cylinder sleeve, cast iron, centrifugal casting, division of graphite, guided cooling, fine-grained pearlite, wearing capacity.

**Клименко Леонід Павлович** – д-р техн. наук, проф., ректор Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: rector@kma.mk.ua.

**Андрєєв Вячеслав Іванович** – канд. техн. наук, зав. відділом Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: avi@kma.mk.ua.

**Прищепов Олег Федорович** – канд. техн. наук, доцент кафедри Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: avi@kma.mk.ua.