

О.В. Триньов, С.С. Кравченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ЦИЛІНДРОВОЇ ГІЛЬЗИ З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

Оптимізація теплового стану циліндрової гільзи в проведеному дослідженні передбачає вирівнювання температури її робочої поверхні на ділянці роботи компресійних кілець до певного рівня, при якому досягається оптимальна в'язкість моторного мастила і зменшуються механічні витрати в спряженні поршень-гільза. Як основний засіб вирівнювання температури розглядається використання алюмінієвих сплавів з більш високою теплопровідністю, ніж у матеріалів більшості серійних гільз – чавуну СЧ. Зносостійкість робочої поверхні гільзи забезпечується корундовим покриттям. Наведені результати безмоторного експерименту з визначення теплоізоляційного ефекту покриття, результати розрахункових досліджень теплового стану для варіантів гільзи з алюмінієвого сплаву з корундовим покриттям. Розрахункові дослідження виконані з використанням математичної моделі на основі методу скінчених елементів. Показано, що використання алюмінієвого сплаву АЛ19 з високою теплопровідністю у робочому діапазоні температур дозволяє, за рахунок більш інтенсивного відведення теплоти від верхнього поясу гільзи, суттєво зменшити температуру в цій найбільш термічно напруженій зоні (від 278 до 214 °С). Зниження температур на 30-50 °С спостерігається також у прилеглих зонах робочої поверхні. В той же час теплоізолюючий ефект корундового прошарку є незначним та оцінюється в межах 2-5°С. Тому такий прошарок з товщиною 0,2-0,3 мм розглядається лише як засіб захисту робочої поверхні від зношення. Наведені результати дослідження показують, що робоча зона тертя компресійних кілець все одно залишається переохолодженою (158-102 °С), особливо поблизу нижнього посадочного поясу. Вирішенням проблеми може бути застосування на зовнішній поверхні гільзи емалевого або інших покриттів, що мають значно менший коефіцієнт теплопровідності.

Ключові слова: дизель; гільза; теплонапружений стан; температурне поле.

Вступ

Використання на сучасних автотракторних ДВС чавунних циліндрових гільз з порівняно низькою теплопровідністю матеріалу призводить суттєвої нерівномірності температурного поля по висоті робочої поверхні гільзи. В залежності від рівня форсування двигуна температури можуть змінюватися від 250-300° С у верхній частині гільзи, наближеній до камери згорання, до 80-90° С в нижній частині, охолоджуваній рідинним охолоджувачем. Безпосередньо на ділянці роботи компресійних кілець також спостерігаються перепади температур від 200 до 100° С. В даному випадку значне тепловідведення в систему охолодження не лише не сприяє протіканню процесів тертя, а й погіршує індикаторні показники двигуна.

Проведені на кафедрі ДВС НТУ «ХП» розрахункові дослідження з метою оптимізації теплового стану чавунної гільзи (матеріал – СЧ21-40) шляхом постановки теплових бар'єрів (емалеве покриття зовнішньої бічної поверхні гільзи, вставки у формі кільця з жаростійкої сталі у верхній частині робочої поверхні гільзи, комбіновані варіанти) підтвердили недостатню ефективність зазначених варіантів. Такими конструктивними засобами не вдається усунути значний температурний перепад на висоті гільзи, вирішальним фактором в даному випадку виступає порівняно низька теплопровідність чавуну в робочому діапазоні температур, коефіцієнт теплопровідності ($\lambda=46-50$ Вт/(м·К)).

Перспективним напрямком для вирішення поставленої проблеми може стати використання для

виготовлення циліндрових гільз автотракторних дизелів алюмінієвих сплавів зі зносостійким покриттям робочої поверхні. Про перспективність цього напрямку свідчить позитивний досвід багатьох зарубіжних виробників автомобільних ДВС, які вже тривалий час практикують застосування алюмінієвих сплавів, зносостійкого покриття для виготовлення гільз циліндрів, блоків циліндрів. Вирішення проблеми вирівнювання температур по висоті гільзи у випадку застосування алюмінієвих сплавів сприятиме, головним чином, більш високою теплопровідністю цих матеріалів ($\lambda=120-160$ Вт/(м·К)). В той же час потребує дослідження напружено-деформований стан таких циліндрових гільз, визначення впливу корундового прошарку, який може розглядатися не лише як зносостійкий, але й як теплоізолюючий при певній товщині прошарку.

В роботі на основі результатів безмоторного експерименту зроблена попередня наближена оцінка теплоізолюючої ефективності корундового покриття, проаналізовано за результатами розрахунків вплив окремих конструктивних факторів на тепловий стан гільзи з алюмінієвого сплаву.

Аналіз літератури

Дослідження з оптимізації температурного профілю робочої поверхні циліндрової гільзи, зниження механічних витрат на тертя були започатковані на кафедрі ДВС НТУ «ХП» проф. Є.І. Третьяком для суднових ДВС. Конструктивні засоби оптимізації теплонапруженого стану (ТНС) циліндрової гільзи автотракторного дизеля розглядаються в роботі [1], кінцевою метою дослідження також є

отримання прийняттого температурного профілю, який би дозволив зменшити механічні витрати і ефективну витрату палива.

В проведеному розрахунковому моделюванні ТНС циліндрової гільзи швидкохідного дизеля 4ЧН12/14 [1] розглядалися наступні конструктивні варіанти:

1. Серійна гільза, виготовлена з чавуну марки СЧ21-40, розглядається як і для всіх послідовних варіантів, в тому числі і гільзи, виготовленої з алюмінієвого сплаву, номінальний режим роботи дизеля 4ЧН12/14 ($N_e=73,6$ квт, $n=1800$ хв⁻¹).

2. В серійній гільзі, у верхній її частині над першим компресійним кільцем при положенні поршня в ВМТ виконується розточення, в розточення запресоване кільце висотою 13 мм і радіальною товщиною 3 мм. Кільце виготовляється зі сталі ЭИ-69 ($\lambda=17-21$ Вт/(м·К)). Для створення теплоізоляційного ефекту в цій зоні гільзи використовується більш низька теплопровідність сталі у порівнянні з чавуном СЧ-21-40.

3. В даному конструктивному варіанті було запропоновано, крім встановленого кільця у верхній частині гільзи, нанесення теплоізоляційного емалевого прошарку товщиною до 0,5 мм на зовнішній бічній поверхні гільзи, яка контактує з охолоджуючою рідиною.

4. Для підсилення теплоізолюючого ефекту, крім ізоляції зовнішньої бічної поверхні від охолоджуючої рідини, теплозахисний емалевий прошарок товщиною 0,5 мм нанесений на бічну поверхню вставного кільця (радіальна товщина кільця зменшена з 3,0 до 2,5 мм) зі сторони камери згоряння.

Варіанти 5 і 6, що розглядалися в дослідженні відрізнялися від варіантів 3 і 4 тим, що вставне кільце виконується з проточенням для утворення замкнутої повітряної порожнини, створення, таким чином, додаткового термічного опору.

В висновках за результатами розрахункового аналізу [1] зазначається, що дослідження підтвердило недоцільність використання вставного кільця, його несуттєвий вплив на температурний профіль робочої поверхні гільзи. В той же час відзначається вплив теплоізоляційного емалевого прошарку на охолоджуваній поверхні гільзи [1].

Вирівнюванню температур по висоті гільзи перешкоджає, насамперед, низький коефіцієнт теплопровідності чавуну, характер розподілу теплових потоків в ДВЗ, при якому основне тепловідведення здійснюється зі сторони КЗ, сприймається головним чином верхньою частиною гільзи. При цьому нижня частина гільзи і більша частина бічної поверхні залишаються переохолодженими.

В роботі [2] проаналізовано конструктивні особливості зарубіжних автомобільних ДВЗ, зокрема деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ). В багатьох випадках виробники застосовують для виготовлення циліндрових гільз алюмінієві сплави зі збільшеним вмістом кремнію.

Зносостійкість поверхонь тертя досягається за рахунок нанесення спеціального покриття, зокрема корундового. Використання таких технологій в масовому виробництві автомобільних двигунів засвідчує їхню досконалість і перспективність, можливість відновлення працездатності циліндро-поршневої групи при проведенні ремонтних операцій.

Особливості технологічного процесу створення на деталях з алюмінієвих сплавів зносостійкого корундового покриття розглядаються в роботах [3,4]. В роботі [3] відзначаються технологічні переваги корундового покриття, а також вказано на складності, які пов'язані, насамперед, з виникненням значних внутрішніх напружень, зумовлених суттєво різними коефіцієнтами лінійного розширення та іншими фізико-механічними параметрами корундового прошарку і алюмінієвих сплавів. Так, для алюмінія коефіцієнт лінійного розширення становить $\alpha = 22,9 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, для оксиду алюмінію ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), який складає основу керамічного покриття $\alpha = 8 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Автори [3] роблять висновок щодо недоцільності використання однофазних оксидних плівок – такі плівки миттєво руйнуються. Пропонується створення на алюмінієвих поверхнях багатокомпонентних, багатозфазних керамічних прошарків, найбільш перспективним в даному випадку може стати метод анодного мікродугового оксидування (АМДО) [3].

В роботі [4] наведено детальний опис технологічного процесу нанесення корундового прошарку методом мікродугового оксидування на поверхню поршнів зі сплаву АЛ25. Така технологія була реалізована в НТУ «ХП» на дослідницькій установці «Корунд-7». Обробка проводиться в лужному електроліті, напруга живлення становить 1000-1200 В, щільність струму $1 \cdot 10^4$ А/м². Запропонована технологія гальваноплазмової обробки відрізняється від інших методів мікродугового оксидування електрофізичними параметрами процесу, конфігурацією імпульсів напруги. Установка «Корунд-7» дозволяє отримати покриття товщиною до 0,5-0,6 мм. Максимальна товщина покриття, його мікроструктура залежить від характеристик імпульсів, температури, складу електролітів [4].

За цією технологією була оброблена дослідна гільза з алюмінієвого сплаву Д16 для проведення безмоторного експерименту.

Таким чином, отримання оптимального температурного профілю робочої поверхні гільзи автотракторного дизеля залишається актуальною задачею, одним з перспективних шляхів її вирішення може стати використання алюмінієвих сплавів для використання циліндрових гільз.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є покращення техніко-економічних показників сучасних автотракторних дизелів, удосконалення конструкції циліндропоршневої групи.

В роботі вирішувалися наступні задачі:

- експериментальна, попередня оцінка теплоізолюючого ефекту корундового покриття, проведення безмоторного випробовування;
- розрахункове моделювання теплонапруженого стану циліндрової гільзи з алюмінієвого сплаву, оцінка впливу теплоізолюючого емалевого покриття зовнішньої поверхні гільзи.

Основні результати дослідження

На першому етапі дослідження було підготовлено і проведено безмоторний експеримент, в якому планувалося в першому наближенні оцінити вплив більш високих коефіцієнтів теплопровідності алюмінієвого сплаву на температурне поле гільзи, а також кількісно оцінити реальний теплозахисний ефект нанесеного на робочу поверхню гільзи корундового покриття за технологією [4]. За кресленнями серійної гільзи дизеля 4ЧН12/14 була виготовлена і препарована термопарами дослідна гільза зі сплаву Д16. Основні технологічні та теплофізичні властивості сплаву наведені в довіднику [5]. Сплав Д16 застосовується для виготовлення різноманітних деталей, які працюють тривалий час при температурах до 150 °С. Сплав виплавляється в індукційних печах, деформується у холодному і в гарячому стані, випускається у вигляді широкої номенклатури (лист, плити, прутки, профілі, труби). Фізичні властивості сплаву залежно від температури наведені в табл.1 [5].

Таблиця 1. Фізичні властивості сплаву Д16 в залежності від температури

t, °С	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	λ , Вт/(м·К)	C, кДж/(кг·К)	$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹
20	0,72	117	-	21,4
100	0,66	129	0,922	22,7
150	0,64	-	-	23,8
200	0,61	146	0,964	24,7
250	0,59	-	-	-
300	0,52	153	1,13	-

На робочій поверхні гільзи товщина корундового покриття змінювалася за лінійним законом від $\Delta_1 = 0,20$ мм у верхній частині гільзи до $\Delta_2 = 0,125$ мм у нижній. Дослідна гільза була препарована термопарами у 5-ти контрольних точках. Використовувалися хромель-алюмелеві термопари, діаметр електродів становив 0,3 мм, діаметр кульки спаю – 0,7-0,8 мм. Кулька вставлялася в глухий отвір на відстані 2 мм від робочої поверхні гільзи і фіксувалася герметиком. Розміщення контрольних точок на дослідній гільзі показано на рис.1.

Детальний опис стенду для проведення безмоторного експерименту наведено в роботі [6], але в даному випадку для нагрівання гільзи до виходу на усталений тепловий режим використовувався циліндричний нагрівальний елемент (керамічний стрижень з обмоткою – ніхромовим дротом). Гільза встановлювалася своєю верхньою торцевою поверхнею на керамічну опору, нагрівальний елемент вставлявся в гільзу, внутрішній об'єм гільзи був теплоізолюваний додатково азбестом.

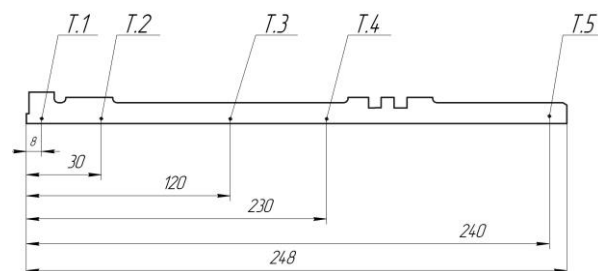


Рис.1. Схема розміщення термопар на дослідній гільзі

Гільза з нагрівальним елементом показана на рис. 2.



Рис.2. Дослідна гільза з нагрівальним елементом

Безмоторний експеримент спочатку було проведено для дослідної гільзи з алюмінієвого сплаву Д16 без корундового прошарку, а потім повторено для цієї ж гільзи з прошарком. В обох випадках виставлявся регулюванням напруги живлення один режим нагрівання, контролювалися зовнішні умови

– температура навколишнього середовища (в обох випадках становила 12-13 °С). В часі фіксувалася динаміка нагрівання дослідної гільзи до виходу на установлений тепловий режим по контрольним точкам. В таблиці 2 представлені результати випробування гільзи без корундового прошарку.

Таблиця 2. Температурна характеристика дослідної гільзи (матеріал – сплав Д16) без покриття, °С

τ, хв	0	10	20	30	40	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Точка 1	12,1	43,6	65,4	80,3	91,4	99,9	105,2	107,7	108	109	111	111,8	113	113
Точка 2	12,0	43,9	65,8	80,6	91,7	100,3	105,3	108,1	109	110	111,4	112,2	113,4	114,2
Точка 3	13,0	43,0	64,6	79,3	91,7	100,3	105,3	107,1	108	108,9	110,4	111,2	112,4	113,2
Точка 4	12,1	40,7	61,4	75,6	86,6	95,1	100,8	103,4	104	105,2	106,7	107,6	108,9	109,7
Точка 5	12,5	40,4	60,7	75,0	85,8	94,3	100,1	102,7	103	104	105,9	106,8	108,1	109,0

В експерименті фіксація температур в контрольних точках проводилися через кожні 5 хв, про вихід на усталений режим свідчить незмінність температур по всім контрольним точкам на протязі тривалого часу (15-20хв).

Порівняльний аналіз динаміки зміни температур для варіанта без корундового прошарку та з таким прошарком показав незначне, в межах 10-15°С, зменшення температур для варіанта з покриттям.

Розподіл температур в кожний з фіксованих моментів часу відзначається щільністю значень (різниця по точкам від 0,5 до 4°С) по всім контрольним точкам, що засвідчує, в першу чергу, значний вплив коефіцієнта теплопровідності матеріалу, в меншій мірі – вплив корундового покриття, теплоізолюючі властивості якого визначаються структурою прошарку, конкретною технологією, параметрами процесу. Зменшення усталених температур для точок 4 і 5 можна пояснити більшою радіальною товщиною стінки гільзи в місцях встановлення відповідних термопар.

Розрахунковий етап дослідження мав за мету аналіз теплонапруженого стану окремих варіантів циліндрових гільз дизеля 4ЧН12/14 на номінальному режимі. Для розрахункового моделювання була використана розроблена і уточнена на основі моторних випробувань математична модель ТНС серійної гільзи дизеля 4ЧН12/14. Задання ГУ задач теплопровідності та механіки для номінального режиму відповідає умовам роботи серійної гільзи (матеріал СЧ21-40), розглядається у вже згаданій публікації [1].

Розглядається циліндрова гільза, виготовлена з алюмінієвого сплаву АЛ19. Працездатність деталей, виготовлених з цього матеріалу, гарантується в температурному діапазоні в межах від 120 °С до 300 °С [7]. Теплофізичні властивості сплаву АЛ19 наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Теплофізичні властивості сплаву АЛ19 [7]

Параметр	Значення параметра при t, °С				
	20	100	200	300	400
λ , Вт/(м·К)	121	130	138	147	159
$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	19,5	22,8	26,5	29	29
C, Дж/(кг·К)	788	838	964	1050	1013
σ_B , МПа	32	-	270	140	80
$E \cdot 10^{-5}$, МПа	0,7	0,67	0,64	0,6	-

В якості теплоізолюючого і зносостійкого покриття використовується корундовий прошарок, теплофізичні властивості якого приймаємо за даними [8] (табл.4).

Необхідно зробити декілька зауважень щодо використаних в розрахунковому моделюванні теплофізичних властивостей корунду. Автори [8] наводять інформацію щодо окисної плівки Al_2O_3 без уточнень типу кристалічної структури ($\alpha-Al_2O_3$ або $\gamma-Al_2O_3$). Склад покриття, розподіл між кристалічними структурами визначається технологічним процесом мікродугового оксидування, що безумовно впливає і на властивості прошарку. Крім того,

проведені розрахунки, математична модель не враховують несущість, поруватість прошарку в дійсності.

Таблиця 4. Теплофізичні властивості корунду Al_2O_3

Параметр	Значення параметра при t, °C				
	20	100	200	300	400
λ , Вт/(м·К)	34,2	30,1	25,6	17,0	7,11
$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	6,2	6,25	6,30	6,40	6,45
C, Дж/(кг·К)	7270	6390	5590	4740	3860
σ_p , МПа	265	255	245	235	230
$E \cdot 10^{-5}$, МПа	3,82	3,80	3,79	3,78	3,77

Суцільний прошарок при товщинах 0,2-0,5мм руйнується при температурах навколишнього середовища, проявляється значна різниця в коефіцієнтах лінійного розширення, характеристиках пружності [3].

В той же час, про що свідчить практичне використання корунду для підвищення зносостійкості деталей ЦПГ автомобільних ДВС зарубіжного виробництва [2], мікродугове окислювання забезпечує надійну роботу деталей ЦПГ в межах моторесурсу. В проведеному розрахунковому дослідженні оцінено, головним чином, теплоізолюючі властивості корунду, вплив корундового прошарку на температурний профіль робочої поверхні гільзи.

В розрахунковому дослідженні представлені наступні варіанти.

Варіант 1. Гільза, виготовлена за кресленнями серійної (як і решта варіантів), без будь-якого теплоізолюючого або ж зміцнюючого покриття. Така конструкція не може мати практичного застосування на ДВС, розглядається як суто теоретична модель для проведення порівняльного аналізу і визначення впливу корундового покриття на температурне поле гільзи.

Варіант 2. На робочій поверхні гільзи, по всій довжині утворено корундовий прошарок товщиною 0,2 мм. Такий же прошарок і такої ж товщини маємо на зовнішній поверхні гільзи, яка контактує з охолоджуючою рідиною.

Варіант 3. На робочій і зовнішній поверхнях гільзи в тих самих межах утворено корундовий прошарок товщиною 0,3 мм.

Варіант 4. Товщина корундового прошарку на робочій поверхні змінюється за лінійним законом від 0,3 мм у верхній частині гільзи до 0,2 мм у нижній.

На зовнішній поверхні товщина прошарку становить 0,3мм.

Для проведення порівняльного аналізу варіантів 1-4 обрані контрольні точки 1-11 на внутрішній і зовнішній бічних поверхнях гільзи. Для порівняння результатів моделювання теплового стану серійної гільзи (матеріал СЧ21-40), які наведені в роботі [1], і дослідних варіантів 1-4 збережене розміщення контрольних точок (рис.3).

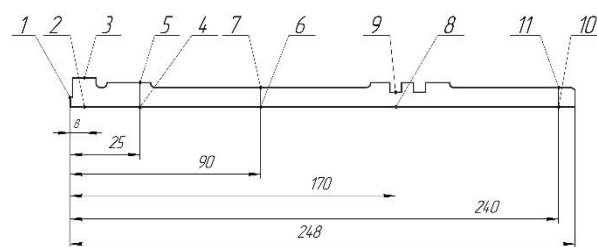


Рис. 3. Схема розміщення контрольних точок

Розподіл розрахункових значень температур в контрольних точках дослідних варіантів і, для порівняння, серійної гільзи представлено в табл.5.

Таблиця 5. Значення температур в контрольних точках дослідних і серійної гільз, °C

№ точки	Варіант розрахунку				Серійна гільза
	1	2	3	4	
1	215	229	228	215	278
2	200	215	214	200	250
3	179	192	191	179	202
4	180	190	188	159	182
5	155	166	164	140	139
6	119	183	150	132	125
7	106	101	99	102	102
8	107	144	119	121	138
9	100	143	117	119	134
10	120	133	116	117	120
11	119	133	116	117	119

Аналізуючи результати розрахунків, можна зробити такі попередні висновки щодо температурного поля гільзи. Використання алюмінієвого сплаву АЛ19 з високою теплопровідністю у робочому діапазоні температур дозволяє за рахунок більш інтенсивного відведення теплоти від верхнього поясу гільзи суттєво зменшити температури в цій найбільш термічно напруженій зоні (від 278 до 214 °C). Зниження температур на 30-50 °C спостерігається також у прилеглих зонах (точки 2,4) робочої поверхні. Слід зазначити, що цей позитивний результат досягнуто без будь-яких інших засобів, зокрема локального охолодження цієї зони,

використання додаткових теплоізолюючих елементів. В той же час теплоізолюючий ефект корундового прошарку є мінімальним, оцінюється в межах 2-5°C. Можна розглядати такий прошарок з товщиною 0,2-0,3 мм лише як засіб захисту робочої поверхні від зношення.

Робоча зона тертя компресійних кілець (від точки 4 до точки 8) залишається переохолодженою (158-102 °С), особливо поблизу нижнього посадочного поясу. Вирішенням проблеми може бути застосування емалевого покриття ($\lambda = 0,8-0,85 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$) замість корундового прошарку на зовнішній поверхні гільзи (17-34 Вт/(м ·К)), збільшення товщини покриття до 0,5 мм. Необхідні зміни конструкції гільзи і блоку циліндрів, а саме зменшення охолоджуваної поверхні.

Висновки

Проведений етап дослідження ТНС циліндрової гільзи швидкохідного дизеля підтвердив доцільність використання для її виготовлення алюмінієвих сплавів, а також необхідність подальшого удосконалення конструкції, зменшення поверхні охолодження, застосування ефективного теплоізоляційного покриття. Потребує удосконалення методика розрахунку напружено-деформованого стану прошарку, який не може розглядатися як суцільний, являє собою більш складну неоднорідну структуру.

Список літератури:

1. Триньов О.В. Конструктивні засоби оптимізації теплонапруженого стану циліндрової гільзи швидкохідного дизеля / О.В. Триньов, В.В. Коростиченко, Р.Ю. Бугайцов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2017. – №2. – С.29-34. 2. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей / А.Э. Хрулев // М.: «За рулем». – 1998. – 356с. 3. Чигринова Н.М. Оксидные керамические покрытия – эффективная тепловая защита рабочих поверхностей деталей ЦПГ / Н.М. Чигринова, В.В. Чигринов, В.Е. Чигринов // *Автомобильная промышленность*. – 2004. - №6. – С.30-34. 4. Шпаковский В.В. Повышение ресурса и

снижение расхода топлива ДВС путем применения частично-динамической теплоизоляции камеры сгорания: учеб.пособие / В.В. Шпаковский. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 132с. 5. Масленков С.Б. Сталь и сплавы для высоких температур: справ. изд. в 2-х кн. Кн. 2/ С.Б. Масленков, Е.А. Масленкова. – М.: Металлургия. – 1991. – 832 с. 6. Тринев А.В. Оценка эффективности локального охлаждения головки цилиндров дизеля КАМАЗ в безмоторном эксперименте / А.В. Тринев, В.Т. Коваленко, С.В. Обозный, А.Н. Клименко // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2011. – №2. – С.19-24. 7. Промышленные алюминевые сплавы: Справ.изд. / С.Г. Алиева, М.Б. Алтман, С.М. Амбарумян и др. // М.: Металлургия. – 1984. – 528 с. 8. Никитин М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей / М.Д. Никитин, В.В. Чигринов, В.Б. Чигринов. – Л.: Машиностроение. – 1977. – 165 с.

Bibliography (transliterated):

1. Trinov O.V. Korostichenko V.V., Bugytsov R.Yu. (2017), Constructive means for optimizing the heat-leaky state of a cylinder sleeve of high-speed diesel, [Konstruktivni zasobi optimizacii teplonapruzhenogo stanu cilindrovoi gil'zi shvidkohidnogo dizelja], *Internal combustion engines*, №2, p. 29-34. 2. Khrulev A.E. (1998), Repair of engines of foreign cars, [Remont dvigatelej zarubezhnih avtomobilej], М.: "Behind the wheel", 356 p. 3. Chigrinova N.M. Chigrinov V.V., Chigrinov V.E. (2004), Oxide ceramic coatings - effective thermal protection of working surfaces of parts of the CPG, [Oksidnye keramicheskie pokrytija – effektivnaja teplovaja zashhita rabochih poverhnostej detalej CPG], *Automotive industry*, №6, pp.30-34. 4. Shpakovsky V.V., (2012), Increasing the resource and reducing the fuel consumption of the internal combustion engine through the use of partial-dynamic thermal insulation of the combustion chamber: study guide, [ovyshenie resursa i snizhenie rashoda topliva DVS putem primenenija chastichno-dinamicheskoj teploizoljacii kamery sgoranija: ucheb.posobie], Kharkov: NTU "KPI", 132p. 5. Maslenkov S.B., Maslenkova E.A., (1991), Steel and alloys for high temperatures: right. ed. in 2 books, [Stali i splavy dlja vysokih temperatur: sprav. izd. v 2-h kn. Kn. 2], М.: Metallurgy, 832 p. 6. Trinev A.V., Kovalenko V.T., Obozny S.V., Klymenko A.N., (2011), Efficiency evaluation of local cooling of a KAMAZ diesel cylinder head in a non-motorized experiment, [Ocena jeffektivnosti lokal'nogo ohlazhdenija golovki cilindrov dizelja KAMAZ v bezmornom jeksperimente], *Internal Combustion Engines*, №2, p.19-24. 7. S.G. Aliyev, M.B. Altman, S.M. Ambarumyan et al. (1984), Industrial aluminum alloys: Ref, [Promyshlennye aljuminievye splavy: Sprav.izd.], М.: Metallurgy, 528 p. 8. Nikitin M.D., Chigrinov V.V., Chigrinov V.B. (1977), Heat-shielding and wear-resistant coatings for diesel engine parts, [Teplozashhitnye i iznosostojkie pokrytija detalej dizelej], Lvov: Mechanical Engineering, 165 p.

Надійшла до редакції 01.06.2019 р.

Триньов Олександр Володимирович – канд. техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: atrinev@gmail.com

Кравченко Сергій Сергійович – канд. техн. наук, науковий співробітник кафедри двигуни внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, orcid: 0000-0003-3250-8645, e-mail: kravc4enkoserg@gmail.com.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРОВОЙ ГИЛЬЗЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

А.В. Тринев, С.С. Кравченко

Оптимизация теплового состояния цилиндровой гильзы в проведенном исследовании предполагает выравнивание температуры ее рабочей поверхности на участке работы компрессионных колец до определенного уровня, при котором достигается оптимальная вязкость моторного масла и уменьшаются механические потери в сопряжении поршень-гильза. Как основное средство выравнивания температуры рассматривается использование алюминиевых сплавов с более

высокой теплопроводностью, чем у материалов большинства серийных гильз - чугуна СЧ. Износостойкость рабочей поверхности гильзы обеспечивается корундовым покрытием. Приведены результаты безмоторного эксперимента по определению теплоизоляционного эффекта покрытия, результаты расчетных исследований теплового состояния для вариантов гильзы из алюминиевого сплава с корундовым покрытием. Расчетные исследования выполнены с использованием математической модели на основе метода конечных элементов. Показано, что использование алюминиевого сплава АЛ19 с высокой теплопроводностью в рабочем диапазоне температур позволяет, за счет более интенсивного отвода теплоты от верхнего пояса гильзы, существенно уменьшить температуры в этой наиболее термически напряженной зоне (от 278 до 214 ° С). Снижение температур на 30-50 ° С наблюдается также в прилегающих зонах рабочей поверхности. В то же время, теплоизолирующий эффект корундового слоя является незначительным и оценивается в пределах 2-5 ° С. Поэтому такой слой с толщиной 0,2-0,3 мм рассматривается только как средство защиты рабочей поверхности от износа. Приведены результаты исследования показывают, что рабочая зона трения компрессионных колец все равно остается переохлажденной (158-102 ° С), особенно вблизи нижнего посадочного пояса. Решением проблемы может быть применение на внешней поверхности гильзы эмалевого или других покрытий, которые имеют значительно меньший коэффициент теплопроводности.

Ключевые слова: дизель; гильза; теплонпряженное состояние; температурное поле.

INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE FACTORS ON THE HEAT CONDITION OF THE CYLINDERS

O.V.Trinev, S.S. Kravchenko

The optimization of the thermal state of the cylinder sleeve in the study involves equalizing the temperature of its working surface in the area of operation of the compression rings to a certain level at which the optimum viscosity of the engine oil is achieved and the mechanical losses in the conjugation of the piston-sleeve are reduced. The use of aluminum alloys with a higher thermal conductivity than the materials of most serial sleeves - pig iron MH is considered as the main means of temperature equalization. The wear resistance of the working surface of the sleeve is ensured by the corundum coating. The results of the nonmotor experiment for the determination of the heat-insulating effect of the coating, the results of calculations of the thermal state for variants of aluminum alloy casings with corundum coating are given. Calculations are performed using a mathematical model based on the finite element method. It is shown that the use of an aluminum alloy AL19 with high thermal conductivity in the working temperature range allows for a significant reduction of the temperature in this most thermally stressed zone (from 278 to 214 ° C) due to more intense heat removal from the upper belt of the sleeve. The decrease of temperatures by 30-50 ° C is also observed in the adjacent zones of the working surface. At the same time, the insulating effect of the corundum layer is insignificant and evaluated within 2-5 ° C. Therefore, such a layer with a thickness of 0,2-0,3 mm is considered only as a means of protecting the working surface from wear.

In addition, the results of the study show that the friction zone of the compression rings still remains supercooled (158-102°C), especially near the lower seating belt. Solving the problem can be applied to the outer surface of the sleeves of enamel or other coatings that have a significantly lower thermal conductivity.

Key words: diesel; shell; heat stress state; temperature field.