

І.В. Парсаданов, В.О. Хижняк, І.В. Рикова

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФОРМИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ КАТАЛІТИЧНОГО ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНІ ПОРШНЯ

Проведений аналіз форм камер згоряння дизелів з безпосереднім впорскуванням палива для рівнів максимального тиску впорскування палива від 100 МПа до 180 МПа. Розглянуті основні вимоги та особливості впливу форми камери згоряння на процеси сумішоутворення та кінетики протікання хімічних реакцій при нанесенні шару каталітичного покриття на поверхню камери згоряння в поршні. Проаналізовані найпоширеніші форми камер згоряння та дані рекомендації зі збільшення утворення активних частинок, зниження енергії активації палива, а також зменшення неоднорідності горіння палива в пристінкових зонах. Для двох рівнів максимального тиску впорскування палива запропоновані варіанти конструкцій форм камер згоряння, що дозволяють збільшити поверхню камери при використанні каталітичного покриття на поверхні поршня.

Вступ

Одним із енергоефективних методів впливу на токсичність відпрацьованих газів (ВГ) дизелів є внутрішньоциліндровий каталіз. Процес каталітичного перетворення токсичних речовин ВГ відбувається в циліндрі дизеля внаслідок посилення взаємодії активних частинок з продуктами розпаду складних вуглеводних ланцюгів, що містяться в шарі нанесеного каталітичного покриття. Це дозволяє збільшити швидкість хімічних реакцій на початковій фазі згоряння та під час дифузійного згоряння.

Технологія плазово-електролітичного оксидування дозволяє в якості матеріалу підкладки для каталітичного покриття на поверхні поршнів з алюмінієвого сплаву одержати корундовий теплоізолюючий шар з високою міцністю і пористістю.

Після нанесення шару каталітичного покриття, поверхня підкладки набуває характерної шорсткості, в межах якої формуються активні частинки. В процесі експлуатації нанесене каталітичне покриття на поверхні камери згоряння (КЗ) поршня створює ефект часткової теплоізоляції, що дозволяє знижувати максимальний тепловий потік від робочого тіла у поршень [1].

Одним із заходів з підвищення ефективності протікання реакцій внутрішньоциліндрового каталізу є збільшення площі поверхні, на яку наноситься каталітичне покриття (без змінення об'єму КЗ в поршні) за рахунок вибору форми КЗ.

Мета роботи – обґрунтування вибору форми КЗ дизеля з безпосереднім впорскуванням палива при різних рівнях тиску паливopoдачі для забезпечення каталітичного ефекту.

Вимоги до форми камери згоряння

В швидкохідних дизелях на створення робочої суміші відводиться обмежений час. Практично після початку впорскування палива починається процес згоряння, при цьому залишок порції палива подається у зону основного фронту полум'я.

Від вибору форми КЗ при заданих характеристиках подачі палива, тривалості впорскування палива, параметрів факелів, кількості отворів розпилювача, напрямку і інтенсивності руху повітряного заряду залежить ефективність забезпечення найкращих умов для сумішоутворення, підведення окислювача при горінні палива в дифузійній фазі з найменшими втратами теплоти в стінки на всіх можливих режимах роботи дизеля [2]. Очевидним є факт, що всім цим вимогам не може відповідати жодна з форм КЗ.

Узагальнена форма КЗ поршня для дизеля з безпосереднім впорскуванням палива наведена на рис. 1.

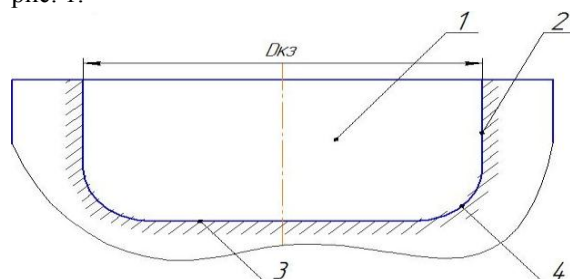


Рис. 1. Узагальнена форма КЗ дизеля з безпосереднім впорскуванням палива:

1 – камера згоряння; 2 – бічна стінка; 3 – донце камери; 4 – радіус переходу від бічної поверхні до донця камери

Інтенсивність руху повітряного заряду досягається тангенціальним або гвинтовим впускним (впускними) каналами головки циліндрів.

Вибір швидкості руху повітряного вихору проводять за умови забезпечення найбільш високих індикаторних і ефективних показників дизеля на режимі номінальної потужності. Це може призвести до погіршення паливної економічності, збільшення токсичності та димності ВГ на часткових режимах роботи дизеля. Деяке зниження величини потрібної тангенціальної швидкості вихору на режимі номінальної потужності, однозначно призведе

до меншої залежності умов сумішеутворення від частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Таким чином, вимоги до вибору форми КЗ поршня комплексно визначаються швидкістю і напрямком руху повітряного заряду, характеристиками паливоподачі, місцем розташування форсунки, режимами роботи дизеля тощо.

Конструктивні елементи КЗ – турбулізуюча кромка, нахилена бічна поверхня, радіус переходу від бічної поверхні до нижньої частини і її виступаючий конус (витиснювач) забезпечують спрямований рух заряду, щодо факелів палива з урахуванням взаємодії палива зі стінкою і аеродинамічних характеристик руху заряду, а також зменшують об'єми зон камери, в яких згоряння відбувається менш інтенсивно (рис.2).

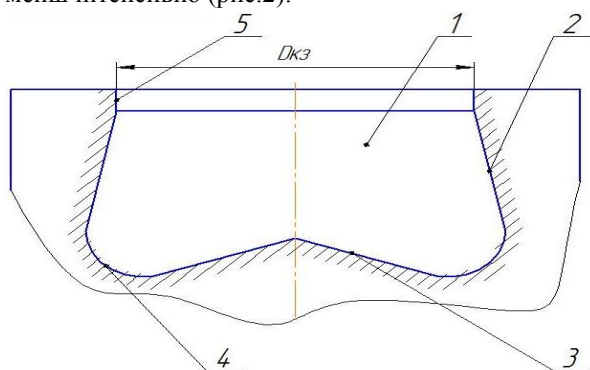


Рис. 2. Форма КЗ з турбулізуючою кромкою, нахиленою бічною поверхнею та витиснювачем:
1 – камера згоряння; 2 – бічна стінка; 3 – витиснювач; 4 – радіус переходу від бічної поверхні до донця камери; 5 – турбулізуюча кромка

Для зменшення втрат теплоти ефективним є застосування теплоізоляції КЗ [3]. При теплоізоляції КЗ збільшується середній показник політропи стиснення $n_{ст}$, що сприяє підвищенню тиску в кінці стиснення (P_c і T_c) і, як наслідок, прискоренню передполум'яних реакцій, скороченню періоду індукції (τ_i), зменшенню $(dp/d\phi)_{max}$, $\Delta p/\Delta \phi$ і λ , знижує щільність заряду (γ), зменшує коефіцієнт наповнення (η_v) і коефіцієнт надлишку повітря (α).

З цього виходить, що теплоізоляція впливає не тільки на втрати теплоти через поршень, але і на параметри повітряного заряду і умови сумішеутворення, а ефективність теплоізоляції буде залежати від вихідного теплового стану КЗ, тобто, для різних умов сумішеутворення існує поріг, до якого збільшення температури поверхні КЗ може приводити до поліпшення умов для повного і ефективного згоряння палива.

Особливості застосування каталітичного покриття на поверхні КЗ поршня

Підвищення ефективності згоряння в дизелях

можна досягти шляхом впливу на кінетику протікання хімічних процесів окислення палива за рахунок використання термokatалітичних елементів (модифікаторів), дія яких спрямована на промотування (зниження енергії активації за рахунок додаткового включення активних частинок) ряду передполум'яних і полум'яних реакцій вуглеводневого палива. Цей метод є найбільш простим і економічно доцільним серед існуючих методів активації хімічних процесів. Основними вимогами щодо ефективного згоряння при каталітичному впливі є забезпечення інтенсивної взаємодії суміші, що згоряє з каталітичною поверхнею КЗ, дотримання заданої температури для ефективного протікання каталітичних процесів [4].

Процеси згоряння палива в КЗ супроводжуються інтенсивною втратою теплоти в стінки. Значна частка втрат теплоти в стінки (до 25%) обумовлена випромінюванням полум'я. Після завершення процесу згоряння зберігається тільки конвективний теплообмін між продуктами згоряння і стінками надпоршневої порожнини, інтенсивність якого залежить від різниці температури між продуктами згоряння і поверхнею стінок КЗ.

Поряд із забезпеченням розглянутих вище вимог, що пред'являються до форми КЗ при безпосередньому впорскуванні палива і методів впливу на кінетику згоряння палива, необхідно забезпечити максимальне збільшення поверхні КЗ в поршні. Зростання теплових втрат в стінки при цьому буде компенсуватися теплоізоляційними властивостями носія каталітичного шару. Визначення впливу теплоізолюючого ефекту від використання плазмово-електролітичного окисдування при збільшенні поверхні поршнів здійснюється за допомогою розрахункового методу, описаного у роботі [3].

Форми КЗ існуючих дизелів і для застосування каталітичного покриття на поверхні поршня

Для дизелів з безпосереднім впорскуванням палива, на яких застосована паливна апаратура, що забезпечує $P_{впрmax}$ = до 100 МПа, діаметр КЗ знаходиться в межах (0,55...0,65) від діаметра циліндра. Збільшення площі поверхні КЗ можна забезпечити застосуванням розвиненої поверхні витиснювача з урахуванням того, що його форма не буде перешкоджати розвитку паливного факела, нахилом бічної поверхні, застосуванням «виточок» і зміною форми турбулізатора у верхній частині камери. Приклад таких камер, які впроваджені в дизелях із безпосереднім впорскуванням палива, показано на рис. 3 (а-в).



Рис. 3. Варіанти форм КЗ поршнів дизелів для $P_{впр.маx}$ до 100 МПа

У дизелях з безпосереднім впорскуванням палива і паливною апаратурою, що забезпечує тиск $P_{впр.маx}$ до 150 МПа, діаметр КЗ знаходиться в межах (0,75...0,85) від діаметра циліндра, якісне сумішеутворення забезпечується в основному за рахунок характеристик подачі палива. Саме тому, при такому рівні тиску застосовування в КЗ виточок в

боковій стінці і турбулізаторів є недоцільним, вони негативно впливають на процеси сумішеутворення та погіршують процес основного згоряння.

Додаткове збільшення поверхні камери може бути досягнуто за рахунок збільшення бічної поверхні витиснювача і виконання ступінчастих проточок та кромки, як показано на рис. 4.

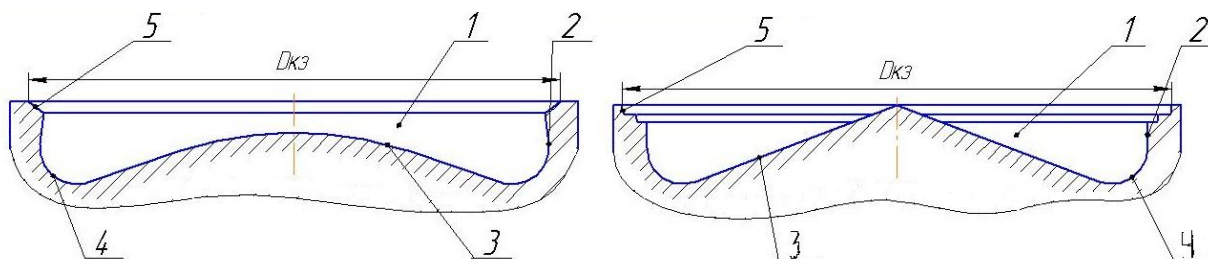


Рис. 4. Форми КЗ дизелів з $P_{впр.маx}$ до 150 МПа:

1 – камера згоряння; 2 – бічна стінка; 3 – донце камери;
4 – радіус переходу від бічної поверхні до донця камери; 5 – турбулізуюча кромка

На дизелях відомих закордонних компаній Mercedes-Benz, Caterpillar, Kolbenschmitte, Iveco, Perkins, Mahle, DAF тощо встановлена акумуляторна паливна апаратура типу “Common Rail”, що забезпечує рівень тиску впорскування палива до

180 МПа. Поршні з різноманітними варіантами геометрії форми КЗ, які одержані за умов забезпечення найкращих показників паливної економічності і екологічності, представлені на рис. 5 (а,б).

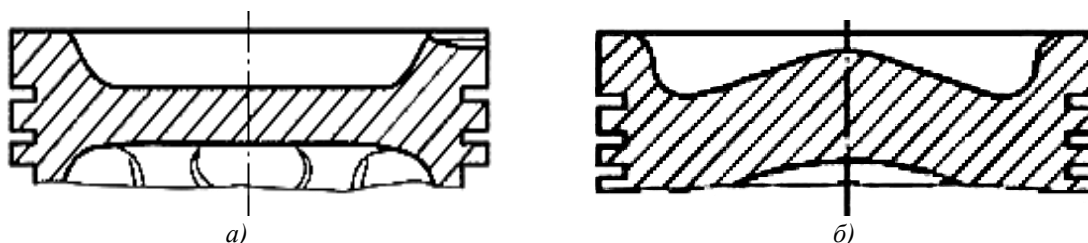


Рис. 5. Варіанти форм КЗ поршнів дизелів для $P_{впр.маx}$ до 180 МПа

Як можна побачити, впроваджені у виробництво конструкції КЗ поршнів, принципово не відрізняються від форм КЗ, що пропонуються в даній роботі, тому при їх використанні можна прогнозувати подальше поліпшення показників паливної економічності і екологічності дизелів.

Висновки

Розглянуті вимоги, особливості застосування

та аналіз форм КЗ поршнів дизелів при різних рівнях тиску паливоподачі, приводить до висновків про те, що зіставлення відношення об'єму КЗ до площини поршня, вибір найбільш оптимальної геометрії форми відносно факелу розпилу забезпечує збільшення площі для нанесення каталітичного покриття. Це дозволить підвищити ефективність внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних

речовин за рахунок посилення взаємодії активних центрів з молекулами розпиленої паливо-повітряної суміші.

Для підвищення каталітичного впливу на кінетику згоряння в дизелях з безпосереднім впорскуванням палива при покритті поверхні КЗ поршня шаром каталізатора з метою додаткового утворення активних частинок, зниження енергії активації палива, прискорення ланцюгових реакцій, а також зменшення неоднорідності горіння у пристінкових зонах доцільно збільшувати площу поверхні камери в поршні. Ймовірно зростання теплових втрат в стінки при збільшенні площі поверхні КЗ компенсуюватиметься частковою теплоізоляцією носія каталітичного шару.

Список літератури:

1. Шпаковский В.В. Влияние частично-динамической теплоизоляции на температурное состояние поверхности поршня [Текст] / В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2. – с. 92-95.
2. Марченко А.П., Сукачев И.И. Методика согласования характеристик топливоподачи и камеры сгорания в дизелях со струйным смесеобразованием [Текст] / А.П. Марченко, И.И. Сукачев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – № 2. – с. 39–44.
3. Пильов В.В. Визна-

чення впливу теплоізоляції камери згоряння на показники роботи ДВЗ: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “двигуни та енергетичні установки” / В.В. Пильов. – Харків, 2014. – 20 с. 4. Никитин М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизеля / М.Д. Никитин, А.Я. Кулик, Н.И. Захаров. – Л.: Машиностроение, 1977.– 168 с.

Bibliography (transliterated):

1. Shpakovskiy, V.V. (2010), “Influence of partial and dynamic thermal insulation on a temperature condition of a surface of the piston”, *Internal Combustion Engine*, [“Vliyanie chastichno-dinamicheskoy teploizolyatsii na temperaturnoe sostoyanie poverhnosti porshnya”], *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, № 2, pp. 92-95.
2. Marchenko, A.P., Sukachev, I.I. (2005), “The technique of coordination of characteristics of fuel supply and combustion chamber in diesel engines with jet mixture formation”, *Internal Combustion Engine*, [“Metodika soglasovaniya harakteristik toplivopodachi i kameryi sgoraniya v dizelyah so struynym smeseobrazovaniem”], *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, №2, pp. 39-44.
3. Pyl'ov, V.V. (2014), *Determination of combustion chamber heat insulation effect on internal combustion engine operation performance: Author's thesis* [Vyznachennya vplyvu teploizolyatsiyi kamery zhorannya na pokaznyky roboty DVZ: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk zi spetsial'nosti 05.05.03 – dvyhuny ta enerhetychni ustanovky], Kharkiv, 20 p. 4. Nikitin, M.D., Kulik, A.Y., Zaharov, N.I. (1977), *Heat-shielding and wearproof coverings of details of the diesel engines*, [Teplozaschitnyie i iznosostoykie pokrytiya detaley dizelya], Leningrad, Mashinostroenie, 168 p.

Надійшла до редакції 14.07.2017 р.

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, професор, головний науковий співробітник кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Хижняк Володимир Олександрович – аспірант кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Leo_18@ukr.net.

Рикова Інна Віталіївна – канд. техн. наук, с.н.с., старший науковий співробітник кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: rykova@kpi.kharkov.ua.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЯ

И.В. Парсаданов, В.А. Хижняк, И.В. Рыкова

Проведен анализ форм камер сгорания дизелей с непосредственным впрыском топлива для уровней максимального давления впрыскивания топлива от 100 МПа до 180 МПа. Рассмотрены основные требования и особенности влияния формы камеры сгорания на процессы смесеобразования и кинетики протекания химических реакций при нанесении слоя каталитического покрытия на поверхность камеры сгорания в поршне. Проанализированы наиболее распространенные формы камер сгорания и даны рекомендации по увеличению образования активных частиц, снижению энергии активации топлива, а также уменьшению неоднородности горения топлива в пристеночных зонах. Для двух уровней максимального давления впрыскивания топлива предложены варианты конструкций форм камер сгорания, позволяющие увеличить поверхность камеры при использовании каталитического покрытия на поверхности поршня.

THE SUBSTANTIATION OF THE SELECTION OF THE FORM OF THE COMBUSTION CHAMBER FOR USING CATALYTIC COATING ON THE PISTON SURFACE

I.V. Parsadanov, V.O. Khyzhniak, I.V. Rykova

The analysis of the existing forms of combustion chambers for diesels with direct injection of fuel with levels of pressure of fuel from 100 MPa to 180 MPa is carried out. The main requirements and peculiarities regarding the influence of the shape of the combustion chamber on the processes of mixture formation, combustion, and the kinetics of the course of chemical reactions during the deposition of a catalytic coating layer on the surface of the combustion chamber of a piston are considered. The most common designs of combustion chamber shapes have been analyzed and reasonable recommendations have been provided to increase the surface area of the chambers to increase the formation of active particles, reduce the energy of fuel activation, accelerate chain reactions, and reduce the heterogeneity of combustion in the near-wall zones. It is advisable to increase the surface area of the chamber in the piston. Variants of constructions of forms of combustion chambers when using a catalytic covering on the surface of the piston which provide a qualitative mixing in case of increase in the surface of the camera for two levels of maximum pressure of injection of fuel have been suggested.