

Надеждностни аспекти при продължителна експлоатация на цилиндрови глави от алуминиеви сплави за бързооборотни дизелови двигатели

Сергей Киров, Трифон Узунтонев, Сергей Белчев

Summary: *A major factor for durability in work of the modern fast moving diesel engines is the safe operation of the cylinder head. Aside from the wear process, this depends to a large extent on the formation and development of cracks violating tightness between spaces of circulating fluids. A similar problem is achieved in electrochemical corrosive processes developing on the coupling surface to the cylinder block, known as corrosion cracks.*

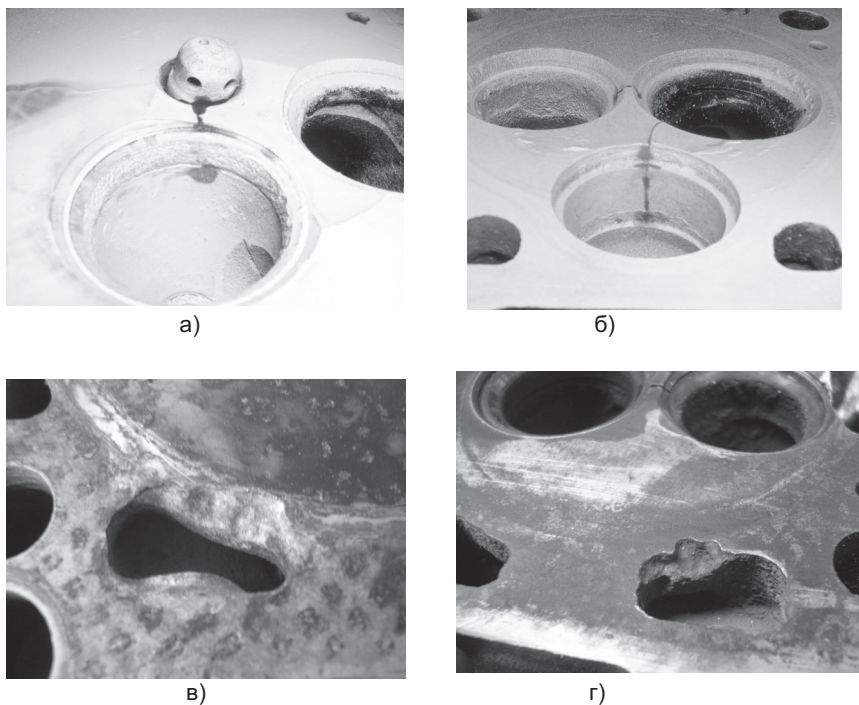
Key words: *cylinder heads from aluminum alloys, thermal weariness, formation and development of cracks, corrosion cracks.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Цилиндровите глави в автомобилния двигател са едни от най-тежко натоварените възли. Като изключим процесите на износване при триещите се елементи, експлоатационната дълготрайност и нормалната работа на двигателя се определят до голяма степен от нейната цялост и липса на възможни деформационни отклонения от равнинност по присъединителните повърхнини. Факторите, които оказват комплексно въздействие върху зараждането и развитието на дефектите в цилиндровите глави са свързани с високи по стойност механични и циклични топлинни натоварвания, високо и променливо по стойност налягане, агресивни и окислителни среди, остри ръбове и др. Цилиндровите глави се характеризират със сложна конфигурация, множество отвори и канали, тънки и дебели стени на отливката. Изброеното до тук предполага наличие на сложно и знакопроменливо напрегнато състояние в отделните зони от цилиндровата глава. Срещат се и неудачни конструктивни решения, които водят до появата на често повтарящи се дефекти. Зародените и развиващи се пукнатини често навлизат в метала на няколко десетки милиметра и свързват отделните пространства. В представения материал разгледаните дефекти са извън контекста на конструктивната якост на най-често използваните леярски алуминиево-силициево-медни сплави.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Поддържането на добра херметичност между отделните системи със специфична функционалност като: горивна, охлаждаща, мазилна, а също и системите за подвеждане на горивото и отвеждане на отработените газове са задължително условие за нормалната работа на двигателя. Нарушаването и предизвиква отклонения от режима на работа, а често и невъзможност за функциониране му. Една от основните причини за това е нарушаване на цялостта на цилиндровата глава при възникване на свързващи отделните пространства пукнатини. Зараждането и развитието на пукнатини поради статични, динамични и най-вече на термо-циклични натоварвания предизвиква свързване на отделните пространства на посочените по-горе системи (фиг. 1а), (фиг. 1б). Друга често срещана възможност е разхерметизирането да настъпи по челната страна на цилиндровата глава към блока разделени с уплътнителна гарнитура. Този нежелан резултат може да бъде активиран от термично-деформационни процеси, но често и от корозионно-ерозионното нарушаване на цялостта на цилиндровата глава по присъединителните и повърхнини с другите елементи



фиг. 1 Дефектна цилиндрични глави от алуминиеви сплави по челната им присъединителна повърхнина към цилиндровия блок:

- а) пукнатина към пълнителния отвор при двигатели с предкамерно смесообразуване
- б) пукнатини в тънките стени между отворите на клапаните и към вихровата камера
- в), г) корозионно разрушаване около отворите на охладителната система, преминаващо под уплътнителния пръстен на гарнитурата

При анализ на информацията натрупана от ремонтно-възстановителната дейност на цилиндрични глави се установява, че с голяма повтораемост зараждането и развитието на пукнатините се извършва на точно определени места. Това са местата с най-силно топлинно натоварване пред отворите на камерите, където се извършва горивния процес (Фиг.1 б), между клапаните, или между дюзата и клапан, където стените са много тънки(Фиг.1б). В други случаи, зараждането започва от вътрешното пространство между тънки и дебели стени с остри ръбове, които се явяват концентратори на напреженията. Често това е съчетано с влошена циркулация на охладителната течност и активно охлаждане на определени зони от главата. Рядко, но се наблюдава формиране на пукнатини на случайни места, което вероятно е свързано с леярски дефекти в материала от производствения процес. В първия случай обяснението на този факт се свързва с по-високия температурен градиент между отвора на предкамерата и интензивно охладената стена на пълнителния отвор от навлизащия студен въздух. Това не се наблюдава към канала на изпускателния клапан, където се поддържа по-висока температура от излизащите горещи изгорели газове. Високия температурен градиент се благоприятства и от тънката стена между камерата и пълнителния

отвор. Възникналата пукнатина се разпространява в зависимост от напрегнатото състояние на метала около нея. Най-често е перпендикулярно на повърхността, но в някои случаи променя посоката към острият ръбове на клапанните седла, или към по-тънките и натоварени стени в отливката.

Важна особеност е цикличността на топлинното натоварване на повърхността на цилиндровата глава основно около камерите, където се извършва горивният процес. Характерното в случая е, че цикличността е свързана не само с честотата на въртене на двигателя, но и от циклите работен режим - покой. Може да се предположи, че поради относително ниската си топлопроводност, особено при високи обороти, материала възприема циклите на горене като един непрекъснат енергиен поток. Той създава температурен градиент намаляващ от повърхността към охладителното пространство съпровождащи се със съответните линейни разширения, възпрепятствани от по-студените обеми метал. По такъв начин при работа на двигателя се предизвикват натискови напрежения, чиято възможна релаксация чрез пластична деформация ще доведе до появата на опънови след спирание и охлаждане на двигателя. При тази цикличност се създават условия за развитие на термична умора на материала, зараждане и развитие на пукнатини. Естествено е, че при нискоциклова умора за развитието на този процес са необходими напрежения с достатъчно високи стойности, които релаксират чрез значителна пластична деформация, видима с невъоръжено око около зоната на горивните камери.

Друг съществен фактор при зараждането и развитието на пукнатините е променливото и високо по стойност налягане. При горивния процес, заедно с мигновеното нарастване на температурата се увеличава и стойността на налягането достигащо до стойности 6 - 7 МПа. Това предизвиква променливи по стойност напрежения с цикличност пряко зависима от честотата на въртене на двигателя. Детонационните процеси при изгаряне на горивото предизвикват възникване на вибрации, които влияят върху разпространението на пукнатините.

След зараждането си пукнатините се развиват в зависимост от напрегнатото състояние в съответната зона. В повечето случаи това е прогнозируемо като посоката на развитието им е почти перпендикулярно на повърхността на главата. Съществуват и отклонения от това правило, като развитието им се насочва към остри ръбове и канали. Понякога се зараждат паралелни пукнатини, или се образува мрежа от пукнатини, но определено само едната от тях е основната, водеща до значителни повреди по цилиндровата глава.

Друга основна причина за възникване на сериозни дефекти са корозионните процеси в цилиндровите глави от алуминиеви сплави. Комплексът от свойства, които притежават алуминиево-силициевите сплави ги прави подходящи за изработването на особено сложните по форма и термично натоварени цилиндрични глави. Освен относително ниското специфично тегло, добрите механични, толофизични, технологични, подходящи за условията на работа на двигателя са и химичните им свойства. По своята същност алуминият се явява твърде активен метал с висок отрицателен електроден потенциал – 1.66V, но в същото време притежава и висока корозионна устойчивост. Благодарение на неговата пасивираща способност, особено в окислителни среди се образува защитен филм, който го предпазва от следващо корозионно разрушаване [4] , [6]. Въпреки това са налице дефекти, породени от корозионни процеси, които нарушават херметичността между отделните системи и влошават нормалната работа на двигателя. Те се зараждат по присъединителните повърхнини на главата към другите елементи от системата за охлаждане и най-вече към цилиндровия блок. Херметичността между тях се осъществява от клингирирова с метални пръстени, или изцяло метална гарнитура. Съществува една схема на конструктивно решение на хидравличния контур на охладителната системата независимо от местоположението на помпата. При нея

посоката на движение на антифриза е цилиндров блок-цилиндрова глава, като целта е да се осъществи интензивно охлаждане на най-нагнетите части, особено на главата. Това е постигнато чрез съвпадащи по разположение отвори между цилиндровата глава и блок, които изпълняват две функции: организират потока течност към охлаждащите повърхнини и се явяват канали за протичането на охлаждащата течност. От съображения за технологичност, отворите в главата и блока са значително по-големи от тези в гарнитурата. Това конструктивно решение се оказва в основата на една от причините предизвикващи развитието на електрохимични корозионни процеси като зараждането им е в зоната на тези дроселиращи отвори. При развитието на корозионния процес, когато разрушаването на метала обхваща достатъчно големи площи от челната уплътняваща повърхност на главата е неизбежно разгерметизирането на отделните пространства. Особено бързо настъпва нарушаване на нормалната работа на двигателя, когато ерозията премине под уплътняващия метален пръстен на клингиристовата гарнитура (Фиг 1в, г). Настъпва лавинообразно разрушаване както на гарнитурата така и на главата, което може да предизвика и по тежки поражения вследствие прегряването на двигателя.

Основния фактор за протичането на посочените по-горе процеси е наличието на циркулиращ електролит между основните части на двигателя, а именно цилиндров блок, глава и други елементи на охладителната система. Скоростта на движение на флуида не е с такива стойности, които биха предизвикали кавитационно, или чисто ерозионно разрушаване, което не се и наблюдава.

Съвременните автомобилни двигатели работят при температури, които при нормални условия на експлоатация варират до и малко над 100°C. За корозионните процеси високата температура може да се разглежда в два аспекта. От една страна високата и стойност оказва съществено значение върху скоростта на електрохимичната корозия на металите, тъй като изменя скоростта на дифузия, пренапрежението на електродните процеси, разтворимостта на продуктите на корозията и т.н. С повишаване на температурата скоростта на корозия както и други електрохимични процеси обикновено нарастват, но има и такива, при които се наблюдават и обратните явления. Например при корозията на металите с кислородна деполяризация, когато скоростта и се определя от дифузията на кислорода се наблюдава сложна температурна зависимост, поради понижаване разтворимостта на кислорода и увеличаване на скоростта на дифузията му свързани и с аерационните процеси в охладителната система. Стойности на температурата са в значителен интервал, като при някои климатични условия варират от минусови, с максимална разтворимост на кислорода, която пада почти до нула при температура на кипене на водата.

Анализа на посочените по-горе дефекти, които се получават само по контактната повърхнина между главата и гарнитурата определя най-вероятния механизъм на корозия известен като корозия в цепнатини. Тя се получава в местата на застойни зони, тънки пространства като цепнатини, където възниква диференцирана аерация, вследствие на доставката на разтвори в електролита кислород към металната повърхност в цепнатината в по-малка степен, спрямо прилежащата към нея открита повърхност. Повърхността на метала в цепнатината се явява анод, където и протичат посочените корозионни процеси [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Надеждността при продължителна експлоатация на дизелови двигатели е пряко свързана със зараждането и развитието на пукнатини в цилиндричните глави при комплексното въздействие на фактори като: циклично топлинно натоварване, високо и променливо по стойност налягане, остри ръбове, грапавини и др. Под тяхно въздействие се развиват процеси на термична умора в прогнозируеми зони в цилиндричното пространство на главите.

2. Наблюдава се корозионно разрушаване на метала на цилиндричните автомобилни глави около отворите за циркулиране на охлаждащата течност, при навлизане на електролит-антифриз в получените се цепнатини между гарнитурата и главата, или в застоини зони на слаба циркулация на охлаждащата течност, известен като механизъм на цепнатинна корозия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Киров С., Иванов И. Характерни дефекти възникващи в цилиндричните глави при експлоатацията на различни марки автомобили, Годишник на Технически Университет Варна, 2006.
- [2] Киров С. Зараждане и развитие на пукнатини в цилиндрични автомобилни глави на дизелови двигатели, Индустриална Практическа Конференция – Машини Технологии Материали 2007.
- [3] Buffiere J-Y. Experimental study of porosity and its relation to fatigue mechanisms of model Al-Si7-Mg0,3 cast Al alloys, Materials Science & Engineering 2001.
- [4] Клинов И., Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы "Машиностроение", Москва 1967.
- [5] Райчев Р., Коррозия и защита на материалите, "Нови знания", София.
- [6] Olusegun K., Effect of common water contaminants on the corrosion of aluminium alloys in ethylene glycol-water solution, Corrosion Science 50(2008) 242-247.

За контакти:

Доц. д-р Трифон Узунтоев, Катедра "Транспортна техника и технологии", ТУ-Варна, тел: 052 383226, e-mail: uzuntonev.trifon@abv.bg

Доц. д-р Сергей Киров, Катедра "Материалознание и технология на материалите", ТУ-Варна, тел: 052 383443, e-mail: s_kirov@abv.bg

Доц. д-р Сергей Белчев, Катедра "Транспортна техника и технологии", ТУ-Варна, тел: 052 383226, e-mail: diesel_service@abv.bg

Докладът е рецензиран.