

Анатолій ДАНИЛЯН, Наталія ТИРОН-ВОРОБІЙОВА, Ольга РОМАНОВСЬКА

КАВІТАЦІЙНЕ РУЙНУВАННЯ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК МОРСЬКИХ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТА ЇХ ЗАХИСТ

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
вул. Фанаторійська, 9, Одеська обл., м. Ізмаїл, 68607, Україна.
E-mail: natasha.vorobyova051982@gmail.com*

Anatoliy DANYLYAN, Nataliia TIRON-VOROBIOVA, Olha ROMANOVSKA

CAVITATION DESTRUCTION OF CYLINDER LINERS OF INTERNAL COMBUSTION MARINE SHIP ENGINES AND THEIR PROTECTION

*Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy»
9, Fanagoriiska St., Odessa region, Izmail, 68607, Ukraine.
E-mail: natasha.vorobyova051982@gmail.com*

ABSTRACT

Long-term researches at CJSC “Ismail Shipyard” (now OJS “Dunaysudoremont”) of the Ukrainian Danube Shipping Company were conducted by one of the authors of the article, which revealed a new unknown phenomenon at that time, which enhances the cavitation on the surface of cylinder liners and inner cylinder blocks of internal combustion engines. This phenomenon was detected on the cylinder liners of engines with misalignment of the cylinder-piston group CPG of the engines, where the normal power N of the conjugation of the piston-liner is greatly increased due to this phenomenon. With the increasing of the normal power N , wave phenomena of the walls were observed on the surface of the cylinder liner, which led to the intense manifestation of cavitation bubbles that broke down, releasing hydrodynamic and thermal energy, as a result, deep cavitation («ulcers») appeared on the surface of the cylinder liners in the points of maximum power N . Continuing research, the authors of the article found new causes for the appearance of the cavitation effect of cylinder liners and engine blocks of marine and river vessels in the internal cooling circuit due to the increasing in the rate of water circulation in the engine block. An effective, comprehensive proposal has been found to eliminate this dangerous phenomenon, which destroys engine parts that have been widely used on merchant and fishing fleets.

KEY WORDS: *cavitation, «ulcers», patch, cylinder liner, cylinder block, marine engine, power.*

ВСТУП

Кавітаційне руйнування є одним із найбільш небезпечних явищ для деталей морських суднових двигунів внутрішнього згорання (СДВЗ), які постійно контактують з охолоджувальною водою. Сам процес кавітації полягає в утворенні парогазових бульбашок у зоні зниженого тиску із подальшим їх руйнуванням у пороговій зоні вже підвищеного тиску. У момент руйнування («схлопування») парогазових бульбашок виникає вивільнення як термічної, так і кінетичної енергій, які здатні в подальшому призвести до руйнування поверхні деталі.

Причиною таких руйнувань СДВЗ може бути порушення перетинів профіля протоку води внаслідок отриманих дефектів при литві самого блоку двигуна. Такі ж руйнування можна спостерігати за дії хвильової природи деформації циліндрових втулок, а також при появі гідравлічних ударів у внутрішньому контурі двигуна, зміні температурного режиму вище встановленого значення, розчиненні газу в охолоджувальній воді та ін. [1].

Згідно з отриманими даними при експлуатації суднових дизелів один із основних чинників кавітації розглядається вібрація втулок. Кавітаційні руйнування концентруються на окремих ділянках поверхні втулки і займають певне положення відносно напрямку потоку води, що охолоджується, обертання коленвала двигуна, і як говорилося вище, найбільшому

руйнуванню підлягають ділянки максимального ударного навантаження на стінку втулки по вектору (за вектором) нормальної сили N .

Практичними дослідженнями доведено, що поверхня втулок має великий кавітаційний знос зі сторони входу охолоджувальної води, ніж поверхні зі сторони виходу [2]. Блоки, які охолоджуються при тиску внутрішнього контура до 0,2 МПа, мають підвищений кавітаційний знос; при підвищенні ж тиску до 0,3-0,35 МПа, даний знос знижується. Невипадково інтенсивність кавітації руйнування найчастіше найбільш активно проявляється на поверхні циліндрових втулок високооборотних і середньооборотних СДВЗ внаслідок ударного навантаження, що приводить до коливального процесу, описаного вище. Процес коливань втулок характеризується коливальним прискоренням, яке знаходиться в діапазоні 18-20 g - за висновками ряду науково-дослідних інститутів. Вище цих значень кавітаційне руйнування втулок призведе до їх заміни (до встановленої норми) доробків заводом-виробником.

Мета роботи - дослідження кавітаційного руйнування поверхні втулки внаслідок зміни швидкості оолоджуючої води в «зарубашечному» просторі морських суднових двигунів та пошук найбільш дієвих технологічних заходів захисту від кавітації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Динаміка циліндропоршневої групи (ЦПГ) двигуна є основним чинником кавітації. У момент руху поршня у ВМТ (верхній мертвій точці) під дією нормальної сили N , спрямованої перпендикулярно до дзеркала втулки, створюється різке збільшення швидкості в поперечному русі поршня, внаслідок чого відбувається удар поршня об стінку циліндра, і під впливом ударного імпульсу створюються місцеві пружні деформації хвилеподібного характеру [3], які далі, так само - хвилеподібно поширюються в радіальному і поздовжньому напрямках відносно поверхні, яка створюється.

В результаті натурних спостережень виявили збільшення нормальної сили N (добуток сумарного зусилля та кута між віссю циліндра і віссю шатуна) при порушенні центрування ЦПГ на чотирьохтактних СДВЗ. Поршень при русі до ВМТ набував додаткове зусилля ударного імпульсу за рахунок деформації шатуна або порушення співвісності посадки верхнього бурту циліндрової втулки, і як наслідок це призводило до збільшеної кавітації стінки втулки в районі прикладеного зусилля ударного навантаження.

Зроблено висновок, що це явище ставало фактом неякісного ремонту, або порушення технічної експлуатації СДВЗ.

На сьогоднішній день рядом провідних дизелебудівних компаній проведено заходи щодо захисту циліндрових втулок і блоків циліндрів від кавітаційних руйнувань із застосуванням технологій по «демпфіруванню» циліндрових втулок, зниженню аерації охолоджувальної води за рахунок переобладнання розширювальної цистерни внутрішнього контуру охолоджувальної води двигуна (рис. 1). Схема захисту внутрішнього контуру обладнується водним затвором, що запобігає контакт внутрішнього контуру охолоджувальної води з атмосферою.

Дана схема значно зменшує корозійне роз'їдання циліндрів і блоку двигуна, корозія і кавітація переходять в єдиний процес руйнування поверхні, насиченої парами і киснем. Корозійно-кавітаційні процеси стають найбільш активними в верхніх посадочних поясах блоків і циліндрів двигуна завдяки накопиченим парам і газам, що створюють застійні зони, в яких знижується об'ємна міцність води, що тягне за собою корозійно-ерозійні руйнування втулок і блоків циліндрів.

Як і будь-яке тіло вода характеризується певними механічними властивостями. Однією з найважливіших цих властивостей є кавітаційна або об'ємна міцність, яка залежить від суцільності рідини, та ж в свою чергу залежить від негативного тиску, при якому настає розрив рідини. Такий розрив називають порогом кавітації. Доведено, що значення порога кавітації залежить від кількості розчиненого кисню (повітря) в рідині. Виходячи з цих спостережень, були розроблені заходи щодо збільшення гідростатичного тиску над дзеркалом води, яке, впливаючи на газові бульбашки, стискає їх, зменшуючи радіуси бульбашок до повної межі стиснення, що перешкоджає їх розриву. Подальше стиснення вище межі деформації бульбашки істотно не змінює його радіус і малоефективно для зміщення порогу кавітації [4, 5].

Авторами даної статті проводилися спостереження і практичні роботи протягом ряду років на ПрАТ «Дунайсудноремонт». Аналіз проводився на ремонтованих судах типу

«Кишинів», буксирах-толкачах типів «Рига», «Іванове», сухогрузах типу «Ельва» і ін. Кавітаційні руйнування активно проявлялися протягом усього терміну експлуатації двигунів.

На новозбудованих судах з напрацюванням двигунів до 10 тис. h серії «Іванове», кавітаційні руйнування спостерігалися на поверхні циліндрових втулок в районі ВМТ на хорді 1100-1200, висотою 130-140 mm, глибина виразок доходила до 1,5 mm. Кавітаційні руйнування носили ерозійний характер із «кородуючими» включеннями.

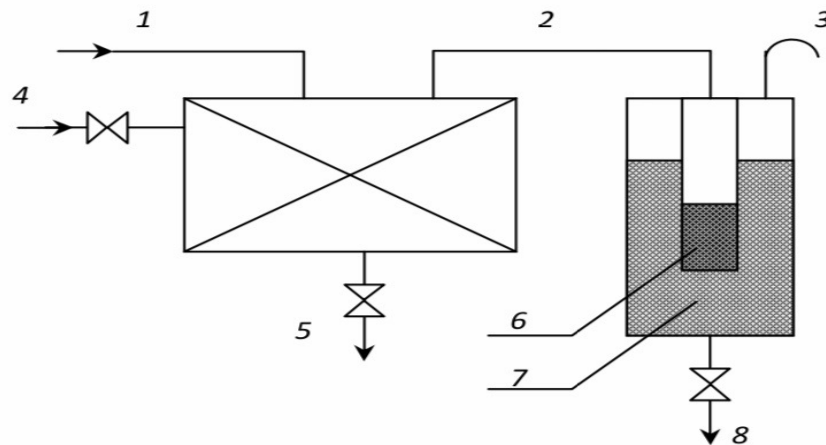


Рис. 1. Схема захисту внутрішнього контуру охолодження СДВЗ від контакту з атмосферою:
 1 - перелив від двигуна; 2 - з'єднувальний трубопровід; 3 - повітряна труба; 4 - поповнення; 5 - до насосу;
 6 - внутрішній циліндр; 7 - зовнішній циліндр; 8 - злив.

Fig. 1. Scheme of protection of the internal cooling circuit of the ICE from contact with the atmosphere:
 1 - overflow from the engine; 2 - connection pipeline; 3 - air pipe; 4 - filling; 5 - to the pump; 6 - inner cylinder;
 7 - outer cylinder; 8 - drain.

Реєстром з нагляду за судами було виставлено вимогу про заміну циліндрових втулок з кавітаційними руйнуваннями. В подальшому ст. майстром мехцеха заводу Данилянном А.Г. і ст. технологом техвідділу Кашпаровим А.А. була розроблена і запропонована нова технологія по виготовленню захисної «наделки» зі сталі 40ХН з кріпленням її в місцях ерозійного руйнування циліндрових втулок.

Інспекція Реєстру після узгодження технології в «ЦНДІМФ» встановила проміжний контроль за поведінкою кавітаційного руйнування циліндрових втулок і регламентувала огляд їх з підйомом через 2500 h і 5000 h роботи двигуна після установки захисних «наделок». Ця пропозиція з високим ступенем антикавітаційного захисту поєднувалася із заходами по створенню підвищеного тиску у внутрішньому контурі охолодження двигуна до 0,35 МПа морських суден, не більше 0,25 МПа річкових суден щодо неможливості установки розширювальної цистерни на більш високий рівень, щоб уникнути витискування охолоджувальної води з внутрішнього контуру двигуна.

В результаті проведеної роботи подальше кавітаційне руйнування циліндрових втулок припинилося як на поверхні антикавітаційної «наделки», так і під нею.

Запропонована і апробована технологія набула широкого застосування на Ізмаїльському СРМЗ Рибної промисловості на судах типу «Пролив», «Форес», а також знайшла своє відображення в технічній експресінформації Мінморфлоту [6].

На даний час є технічні можливості по створенню нової технології захисту циліндрових втулок і блоків СДВЗ. У зв'язку з цим при підготовці наукової статті були проаналізовані сучасні захисні компоненти, створені на базі останніх наукових розробок зарубіжних авторів з використанням нанотехнологій.

У зв'язку з вищесказаним, авторами пропонується новий технологічний напрям ремонту циліндрових втулок і блоків двигунів від кавітаційного руйнування на основі Полімерметалу - ММ - metal SS - steelceramic. Даний Полімерметал є матеріалом широкого діапазону застосування для ремонту і технологічного обслуговування всіх металів і сплавів.

Відповідно до проведених досліджень німецькою компанією Metal Existence Company даний матеріал володіє наступними технічними характеристиками [7]:

- міцність на стиск (DIN ISO 604) 200 МПа;
- міцність на розтяг 83 МПа;
- температуростійкість від – 1500 °С до + 2800 °С.

Ця запропонована технологія забезпечує повну відсутність контактної і електрохімічної корозії. Відповідно до технології ремонту циліндрових втулок, алгоритм робіт проводиться таким чином: ремонт посадочних буртів блоку СДВЗ виконується аналогічних способом. Залежно від ступеня руйнування поверхні, як було сказано вище, може бути використано застосування «армування» нержавіючою сіткою з нанесенням захисного покриття декількома шарами в 1-1,5 mm для забезпечення кращої адгезії кожного шару.

Розточка під розмір нижнього посадочного бурту блоку після обробки поверхні захисним покриттям ММ - SS, виконується борштангою з використанням карборундового каменю або алмазним різцем для сухого різання. Особливу увагу потрібно приділити установці борштанги з обов'язковим вивірянням бази по верхньому посадковому бурту блоку циліндрів і осей посадкового нижнього бурту блоку й мотилевих шийок коленвала в суворій відповідності останньої 900 ± 1 .

Технічні характеристики обробки посадкового бурту борштангою:

- швидкість різання $V_c = 30-125$ m/min;
- глибина різання $ap = 0,5-1$ mm;
- подача різання $f = 0,1-0,2$ mm/rev.

Виконання ремонту нижнього посадочного бурту блоку двигуна здійснюється спеціалізованими ремонтними підрозділами в портах, на судноремонтних заводах, або на плановому заводському ремонті.

ВИСНОВКИ

Вперше при описі процесу кавітації циліндрових втулок було розкрито явище, яке додатково збільшує нормальну силу N -тиску поршня на дзеркало втулки і прискорення поршня в горизонтальній площині за рахунок погіршеного центрування ЦПГ.

Раніше ерозійне руйнування нижнього бурту блоку циліндрів робило блок двигуна неремонтоздатним і він підлягав заміні. Дана технологія дозволяє вирішити цю технічну задачу. Якість покриття ММ - SS не поступається захисту від кавітації, контактної і електрохімічної корозії кращим високолегованим сталям і чавунам.

Відновлення циліндрових втулок СДВЗ, згідно із запропонованою технологією, дозволяє без виведення судна з експлуатації виконати ці роботи силами машинної команди зі значною економією грошових коштів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення можливості використання запропонованої технології для ремонту верхнього посадочного бурту блоку двигуна під циліндричну втулку, що є пріоритетним напрямком в судноремонті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кочетков Е.А., Курильов А.С. Кавітаційні руйнування зовнішніх поверхонь циліндрових втулок судових двигунів внутрішнього згоряння // Морська техніка і технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. - Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2000. – № 1. – С. 86-91.
2. Юсуфов А.Р., Абачарєв І.М. Отримання захисних покриттів багатофункціонального призначення поверхневим легуванням виливків в ливарній формі // Морська техніка і технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. - Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2010. – № 1. – С. 69-72.
3. Боровий І.В. Вплив кавітації циліндричної втулки судових ДВЗ на безпеку їх експлуатації. Морська техніка і технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. - Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2000. – № 1. – С. 95-98.
4. Подстрешний Є.В., Ходаковський В.М. Кавітаційно-ерозійне зношування втулок циліндрів судових СОД // Суднобудування та судноремонт: Зб. наук. праць. - Вип. 38. - Владивосток: Морськ. держ. ун-т. – 2012. – С. 7-11.
5. Борщівський Ю.Т., Мірошніченко А.Ф. Підвищення кавітаційної стійкості двигунів внутрішнього згоряння. - К.: Вища школа 1980. – 264 с.
6. Технологія по ремонту циліндрових втулок головних двигунів. - Ізмаїл: ІСРЗ УДП, 1977. – 6 с.
7. Лист технічних даних [Електронний ресурс] / MultiMetall. - P.O. Box Viersen Germany. Режим доступу: www / URL: http://multimetall.ru/download/tds/r_dbl_001_ss_steelceramic.pdf.