

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження технології відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів нанесенням покриття на їх зовнішню поверхню»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Лавріненко С.М.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Сайчук О.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Науменко А.О.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Одним з найважливіших компонентів автомобіля є двигун - найбільш складний і відповідальний агрегат. Технічний стан двигуна багато в чому визначає ресурс автомобіля в цілому, його ефективність, надійність і екологічність. На його частку доводиться близько 30% відмов і 20% трудомісткості технічного обслуговування й ремонту.

У процесі експлуатації двигуна - у результаті природнього зношування сполучень і порушення регулювань його основних систем і вузлів - на 25-30% зростає нерівномірність роботи циліндрів, на 35% знижується ефективна потужність, на 25% збільшується витрата палива, погіршуються інші техніко-експлуатаційні показники.

Подальше форсування дизелів супроводжується значним підвищенням максимального тиску згоряння палива, при цьому вимоги по надійності також зростають. Об'єм випуску високофорсованих автомобільних дизелів і кількість їх в експлуатації постійно збільшуються, тому слід очікувати, що розв'язання проблеми забезпечення високої якості дизеля може принести значний техніко-економічний ефект.

З літературних джерел відомо, що форсування дизелів, а саме, ріст числа обертів і середнього ефективного тиску приводить, крім, інших типів зношування, що зустрічаються у двигуні, ще й до появи кавітаційного виду зношування. Його результатом є утворення достатньо глибоких раковин на обмеженій площі, які не мають слідів відкладань, наприклад, продуктів корозії.

Окремо стоячі раковини, що з'являються, які надалі зливаються в одну суцільну зону, іноді приводять до повного - наскрізного - руйнування стінки гільзи. Перші прояви з'являються в площині хитання шатуна, причому, на лівій стороні гільзи, якщо дивитися на неї так, щоб колінчастий вал обертався за годинниковою стрілкою. Фактор, який визначає місце розташування кавітаційних раковин - перекладка поршня в зоні верхньої мертвої крапки. Вплив з боку поршня й поршневих кілець на гільзу можливо внаслідок наявності теплових зазорів в з'єднаннях «поршень-гільза» і «поршнева канавка-поршневе

кільце». При цьому, ці зазори вибираються протягом дуже короткого часу, вимірюваний мілісекундами. В результаті, поршень, перекладаючись у верхній мертвій крапці, ударає по гільзі й викликає її вібрації.

Коливання гільзи у високочастотному діапазоні викликають, у свою чергу, розриви суцільності рідини і появу пароповітряних бульбашок. Схлопування бульбашок у пристіночній області гільзи викликає її інтенсивне руйнування.

Найкращими умовами для інтенсифікації процесу кавітаційного зношування є робота двигуна на холостих обертах, низька температура охолоджувальної рідини й часта зміна навантажень, що характерно для їзди автомобіля по місту в осінньо-зимовий і зимово-весняний періоди року, тобто від 1/2 до 3/4 від загального часу експлуатації. Різновісність стінки гільзи, що з'являється в результаті кавітаційного зношування, тим більше співпадаюча із площиною максимального механічного зношування її внутрішньої поверхні, приводить до збільшення деформацій гільзи в блоці.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених підвищенню надійності циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння, ця проблема повністю не вирішена дотепер. У зв'язку із цим розробка способу підвищення кавітаційної стійкості циліндро-поршневої групи є актуальним завданням.

Ціль дослідження - підвищення ресурсу гільз циліндрів дизелів шляхом створення на їхній зовнішній поверхні пористого покриття.

Об'єкт дослідження - закономірності кавітаційного зношування зовнішньої поверхні гільз циліндрів з нанесенням пористого покриття.

Наукову новизну роботи представляють:

результати експериментальних досліджень кавітаційної стійкості гільз циліндрів, відновлених шляхом нанесення пористих покриттів на їхню зовнішню поверхню.

Практична значимість роботи полягає в розробці технології відновлення зовнішніх поверхонь гільз циліндрів пористими покриттями, методом електроіскрової обробки, що підвищує їхній ресурс.

1 МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз причин зниження довговічності дизельних двигунів

Дослідженню процесів корозійного й кавітаційного руйнування деталей дизельних двигунів приділялася досить велика увага з моменту початку їх експлуатації. Зокрема вже в 1986 р. галузевою науково-дослідною лабораторією автомобільного транспорту (ОНИЛАТ) Севастопольського приладобудівного інституту були зроблені наступні висновки за результатами дослідження 27 двигунів із пробігом від 3,7 тис. км до 408 тис. км (табл. 1.1):

- при експлуатації двигунів на воді й розведенні рекомендованого для експлуатації «Тосола А-40» водою (особливо підвищеної твердості) різко інтенсифікуються процеси накипформування й корозії;
- від процесів корозії страждають головним чином деталі, виконані з алюмінію, чавуну, сталі й припою;
- процеси корозії негативно впливають на температуру внутрішньої стінки циліндра (збільшення на 25 °С), витрату палива (підвищення на 6%) і потужність (зниження на 5%).

У результаті дослідження були виявлені фактори, що надають максимальний вплив на виникаючі процеси корозії й кавітаційної ерозії деталей дизельних двигунів (рис. 1.1) [1].

Особлива увага при подібних дослідженнях приділяється кавітаційним руйнуванням, оскільки сліди накипу й іржі можуть бути вилучені, а ерозія стінки гільзи, що виникає внаслідок кавітації, не може бути усунута.

Для двигуна характерні досить високий рівень вібрацій, різкі перепади швидкостей руху рідини й тисків у змінних перетинах, а також її температури. Крім того, на процес кавітаційного зношування впливають деформації й внутрішні напруження матеріалів, і вихід на поверхню дислокацій, що є центрами руйнування.

Для блоку циліндрів двигунів характерне сильне корозійно-кавітаційне зношування, ускладнене накипформуванням сорочки охолодження і ложі водяного насоса: приблизно 10% ремонтваних блоків двигунів має глибокі

раковини порожнин охолодження.

Таблиця 1.1 - Корозійно- кавітаційне руйнування ресурсовизначальних деталей дизельних двигунів

Найменування деталей	Частка з даними руйнуваннями, %	Опис руйнування
Головка блоку циліндрів	55	Незначні кавітаційні руйнування, наліт іржі
	20	На внутрішній поверхні виразки, частина отворів закупорена, руйнування країв отворів
Гільзи циліндрів	44	Значні відкладання 350-450 нм, місцями неглибокі виразки
	35	Щільні товсті шари 400-560 нм відкладань, замаслена поверхня
Блок циліндрів	40	Наліт пухкої іржі
	10	Щільні відкладання іржі й накипи, тріщини

Процес зношування зовнішньої поверхні гільз циліндрів інтенсифікується за рахунок високочастотної вібрації й високої температури. При цьому типовим є виразкове ураження зовнішньої поверхні гільз, а глибина виразок досягає значень 3 мм (при товщині стінки гільзи 7-8 мм).

У головок циліндрів руйнування відбуваються в місцях перетікань охолоджувальної рідини - по типу щілинної корозії. Результати дослідження показують, що близько 40% головок блоку мають дуже сильні руйнування підводячих каналів - до 3 мм по ширині.

Незважаючи на те, що споконвічно відомі зони появи кавітаційних руйнувань стінки гільзи, а також те, що зменшення товщини стінок приводить до погіршення напружено-деформованого стану гільзи, розміщеної в блоці, і, уже спочатку маючи овальну форму, проте, серйозних заходів у цьому напрямку не вживається.

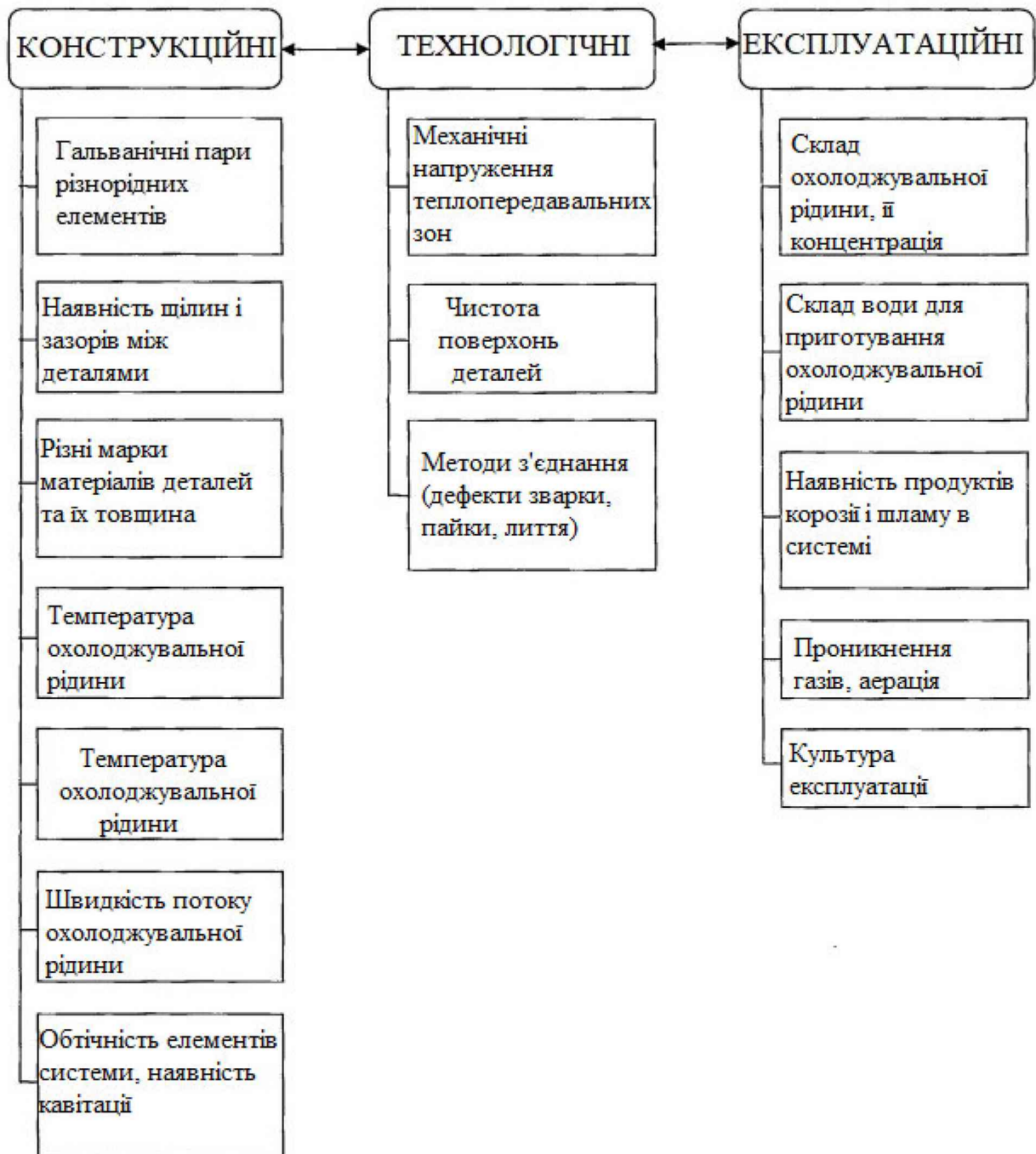


Рисунок 1.1 - Фактори, що впливають на руйнування деталей системи охолодження двигуна КамАЗ-740

Відхилення форми гільз циліндрів від кола обумовлене, в основному, нерівномірністю зношування по окружності (у тому числі зовні під дією кавітації) і залишковою деформацією в процесі експлуатації. Нерівномірність зношування й деформація гільз, у першу чергу, обумовлені дією бічної сили при перекладці поршня. У результаті цього найбільше зношування спостерігається,

як правило, у площині хитання шатуна (перпендикулярно осі колінчастого валу), а найменше - у площині осі колінчастого валу. У деяких двигунах при поганому очищенні повітря, це співвідношення може порушуватися залежно від розташування клапанів.

Поява овалізації гільз під дією залишкової деформації свідчить овальність у верхньому незношеному поясі. Результати досліджень показують, що частка овальності від деформації в загальній овальності становить 10-20% [2].

В умовах підвищеної концентрації абразивних часток інтенсивність зношування й овалізація гільз циліндрів зростають у процесі експлуатації, отже, і овальність буде зростати по експонентній залежності аналогічно овальності шийок колінчастого валу.

У результаті такої до кінця неоптимізованої конструкції двигуна витрати на ремонт і технічне обслуговування одного автомобіля КамАЗ у кілька раз перевищують його початкову вартість, при цьому в собівартості сільськогосподарської продукції частка транспортних витрат може досягати 10-12%.

Особливо значні витрати (до 65% від усіх витрат на підтримку працездатності автомобіля) припадають на його ремонт. Тому актуальним завданням залишається підвищення надійності автомобілів при конструюванні, виготовленні й ремонті.

1.2 Кавітаційна ерозія зовнішньої поверхні гільз циліндрів «мокрого» типу і методи боротьби з нею

У високофорсовані дизелі КамАЗ-740 встановлюються два типи гільз циліндрів: 7406.1002021, що виготовляються із сірого спеціального чавуну, зміцненого об'ємним загартуванням, і 7406.1002021-20, що виготовляються зі спеціального легованого сірого чавуну, не оброблені термічно. У з'єднанні гільза-блок циліндрів зовнішня порожнина між ними ущільнена гумовими кільцями круглого перетину, при цьому у верхній частині встановлено одне кільце в проточці гільзи, у нижній частині два кільця - у розточенні блоку циліндрів. Таким чином, гільза закріплена консольно й має можливість

відхилятися в нижній частині, оберненою до колінчастого валу, під впливом збурюючих сил, з боку поршня в межах товщини ущільнювального кільця.

За даними різних дослідників основне кавітаційне зношування перебуває в зонах максимального впливу бічної сили N [3]. У результаті такого впливу тільки на частку гільзи доводиться 10-12% аварійних ушкоджень від загальної кількості ушкоджень деталей і вузлів дизеля. Відомо, що вплив сил тиску газів на циліндро-поршневу групу фактично є ударом, при цьому в камері згоряння можуть виникати імпульси з резонансною частотою 7...8 кГц, які досягають величини 10...15 бар (рис. 1.2) і викликають вібрації гільз циліндрів.

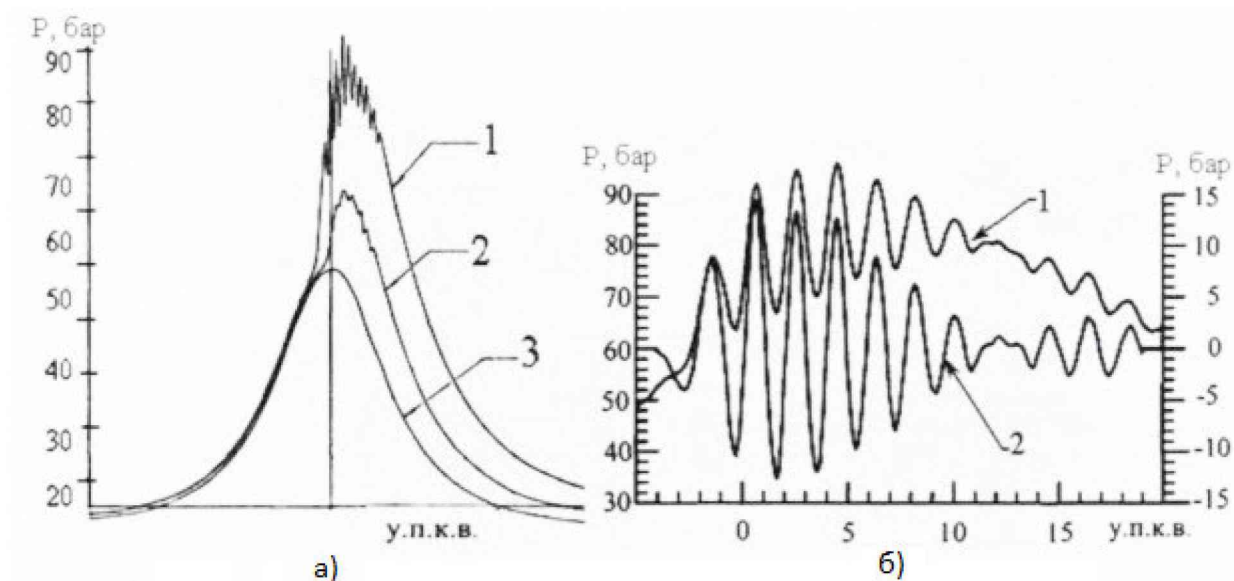


Рисунок 1.2 - Ударний вплив сил тиску газів: а) - індикаторні діаграми (1 - повна подача палива; 2 - холостий хід; 3 - прокручування); б) - пульсації тисків ($n = 2600 \text{ хв}^{-1}$, навантаження 75%; 1 - вихідна крива; 2 - згладжена крива)

Відомо, що сила зіткнення $N_{\text{уд}}$ поршня й гільзи перевищує бічну силу перекладки поршня N в 2...10 рази, і залежить від швидкості співударяння, величини бічної сили N і радіуса кривизни бочкоподібного профілю поршня. При цьому коливання гільзи в районі верхньої мертвої крапки повторюють коливання газів у циліндрі, а віброшвидкості трохи зміщені по фазі щодо пульсацій тиску газів.

Істотним фактом для поняття явища кавітації є те, що гільза циліндра під дією бічної сили N поводитья як оболонка й деформується. При цьому більша

вісь овалу гільзи розташована уздовж дії сили N (впоперек осі колінчастого валу), а крапки розташовані під кутом $\pm 45^\circ$, не переміщуються.

У результаті при роботі дизеля кавітаційне руйнування проявляються як на зовнішній поверхні гільз, так і на сполучених поверхнях нижніх посадкових поясів блоку циліндрів. Гільзи руйнуються в площині хитання шатуна у вигляді окремих каверн або їх ланцюжка на зовнішній поверхні, починаючи із середньої частини й переходячи вниз на посадкову поверхню (рис. 1.3), при цьому інтенсивність кавітаційних руйнувань не однакова по номерах циліндрів.

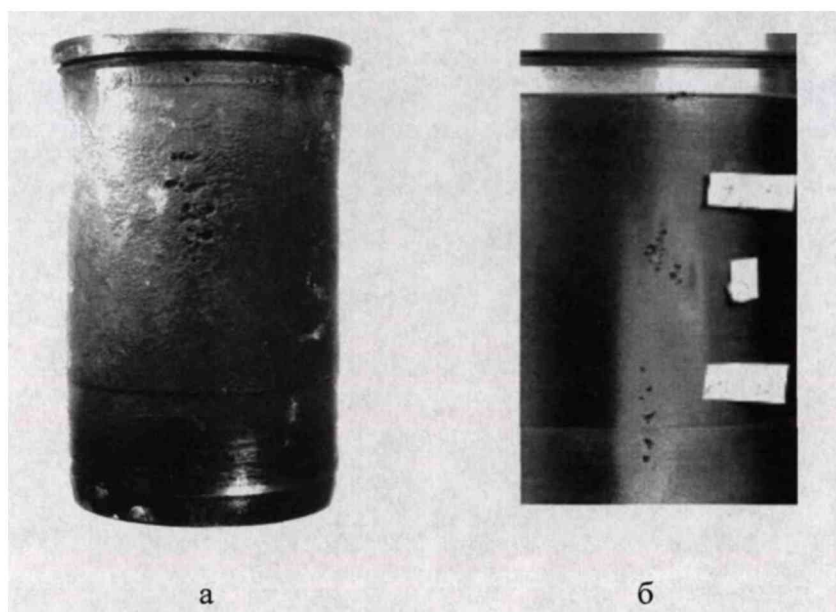


Рисунок 1.3 - Кавітаційне руйнування стінки гільзи: а - двигун КамАЗ-740; б - гільза двигуна GM 6.5, встановлюваного на Hummer

У блоку руйнується в основному верхній пояс нижнього посадкового місця, а також області, розташовані в площині хитання шатуна. При цьому найбільше інтенсивне кавітаційне руйнування відбуваються при роботі двигуна на воді, менш інтенсивно, на охолоджувальних рідинах. Матеріал гільзи - сірий спеціальний чавун - має високу зносостійкість, однак у ряді використовуваних у двигуні матеріалів є одним із самих схильних кавітаційному руйнуванню.

Блоки двигунів по нижньому посадковому пояску іноді ремонтуються наплавленням, але в більшості випадків вибраковуються через складність обробки. Гільзи двигунів з ланцюжком каверн звичайно вибраковуються, хоча

допускається їхнє повторне використання, оскільки для більшості вітчизняних двигунів вибраковочні параметри по кавітаційному зношуванню гільз не досліджувалися й не визначені.

Механізм кавітаційного зношування базується на схлопуванні вакуумної бульбашки, що утворюється внаслідок розриву сплошності охолоджувальної рідини при відхиленні стінки гільзи внаслідок удару по ній поршневих кілець і поршня, у пристіночній області [4].

Дослідження показали, що на кавітаційну ерозію істотний вплив чинить динаміка схлопування бульбашки. Установлено, що замикання кавітаційних бульбашок поблизу різних поверхонь здійснюється по відмінних схемах, і енергія схлопування бульбашок визначається змочуванням поверхні напиленого шару рідиною.

При 1-му типі замикання порожнина (кавітаційна бульбашка) спочатку наближається до сферичної форми, а потім швидко сплющується в напрямку, перпендикулярному випробовуваної поверхні (рис. 1.4).

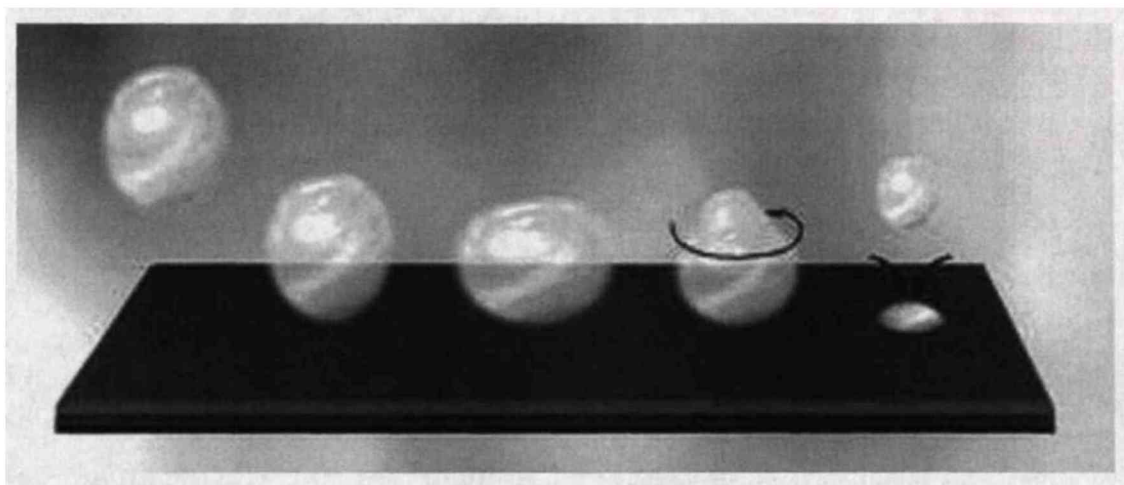


Рисунок 1.4 - I-й тип замикання порожнини кавітаційної бульбашки

Зі зменшенням змочуваності поверхні виникає II-ий тип замикання (рис. 1.5). Після того як кавітаційна бульбашка досягає поверхні, ближче до його верхньої частини, паралельно поверхні, виникає кільцевий струмок рідини, що ділить бульбашку на верхню й нижню частини. Причому, чим менше змочуваність поверхні, тим нижче утворюється кільцевий струмок рідини. Нижня частина замикається з утворенням струмка рідини, спрямованого

перпендикулярно випробовуваному тілу.

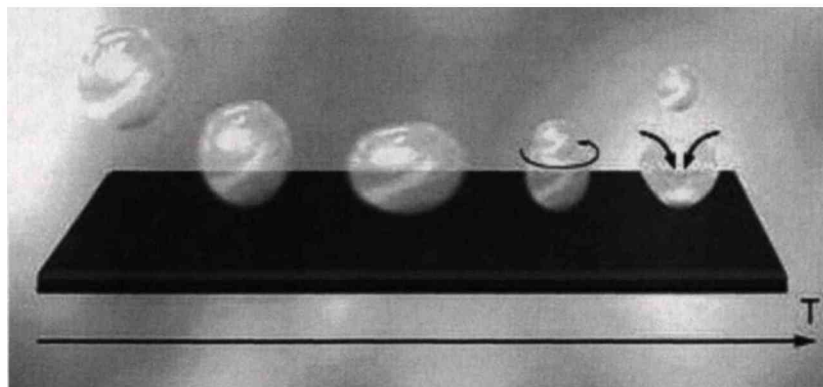


Рисунок 1.5 - II-ий тип замикання порожнини кавітаційної бульбашки

При подальшому зменшенні змочуваності, границя поділу бульбашки все ближче підходить до поверхні (III-й тип замикання бульбашок), рис. 1.6. При цьому струмок рідини, перпендикулярний поверхні, спрямований, в основному, убік від поверхні, тим самим знижується кавітаційне зношування поверхні.

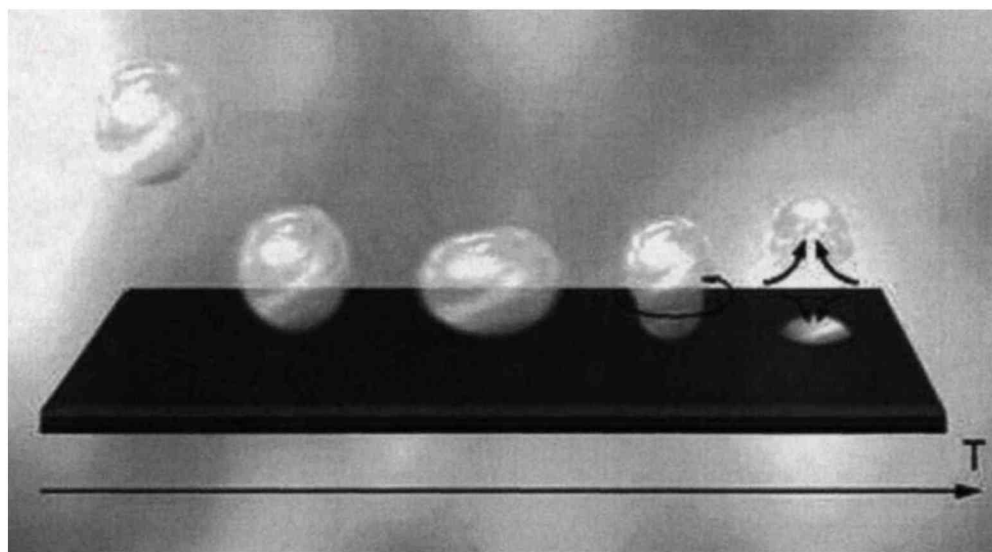


Рисунок 1.6 - III-й тип замикання порожнини кавітаційної бульбашки

Аналіз типів схлопування показує, що з погляду інтенсивності енергії удару або, інакше кажучи, передумов до зменшення ерозії третій тип замикання найбільш сприятливий.

Експериментами встановлено, що в процесі кавітаційного руйнування існує 4 періоди:

1. інкубаційний період - втрата маси відсутня, але може спостерігатися пластична деформація матеріалу;

2. другий період - ріст інтенсивності руйнування триває до моменту досягнення їм максимуму;
3. третій період - відбувається зниження інтенсивності руйнування;
4. четвертий період - період стабілізації процесу ерозії.

Дослідження гільз із кавітаційним зношуванням показують, що зміни хімічного складу матеріалу гільзи не спостерігається (табл. 1.2, дані отримані на мас-спектрометричній установці з іонним зондом), але відбувається ущільнення кавітаційно зношеної поверхні (рис 1.7), про що говорить зниження площі фігури під кривою відгуку (отримане на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3,0 з Fe- α випромінюванням ($\lambda_s=1,93728 \text{ \AA}$)).

Таблиця 1.2- Хімічний склад зовнішньої поверхні гільзи (%)

Елемент	Зовнішня поверхня нової гільзи	Зовнішня поверхня гільзи з кавітаційним зношуванням
Mo	0,27	0,34
Al	0,13	0,17
Si	0,06	0,09
Ca	0,14	0,18
Ti	0,08	0,09
V	0,06	0,03
Cr	0,38	0,34
Mn	1,05	0,65
Fe	97,10	96,58
Ni	0,19	0,33
Cu	0,53	0,65

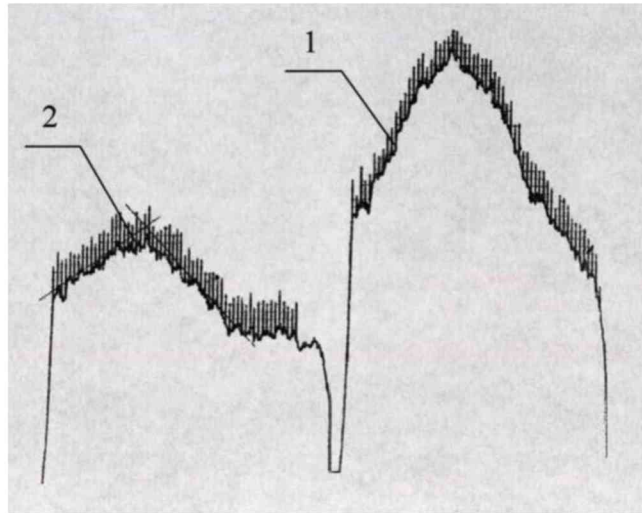


Рисунок 1.7 - Ущільнення чавуну на зовнішній поверхні гільзи при кавітаційному зношуванні: 1 - зовнішня поверхня нової гільзи; 2 - зовнішня поверхня гільзи, що зазнала кавітаційне зношування.

Одночасно з виявленням кавітаційної ерозії почалися пошуки способів її, якщо не запобігання, то хоча б ослаблення негативного впливу. На першому етапі всі пошуки зводилися до заміни матеріалу на більш стійкий. У цей час можна виділити наступні напрямки боротьби з кавітаційною ерозією матеріалів.

Зміна гідродинамічних характеристик потоку рідини. Суть цих способів - по відомим параметрам критичних значень кавітації для розглянутих типів гідравлічних пристроїв визначаються параметри потоку, які й забезпечують безкавітаційний режим течії. У цього способу існує два мінуси: по-перше, на практиці його не завжди можна здійснити через складності контролю параметрів потоку, по-друге, це не завжди доцільно підтримувати параметри потоку на рівнях нижче кавітаційного порогу з економічної точки зору. Із цих точок зору найбільш оптимальне рішення - це ефективна робота гідравлічної системи в таких стадіях кавітації, коли ефект від кавітаційної ерозії незначний.

Підбір матеріалів, що мають підвищену кавітаційну стійкість. Однак, слід мати на увазі, що кожний матеріал має свій поріг кавітаційної стійкості й при його перевищенні, відбувається руйнування. Найбільшою стійкістю з відомих зараз матеріалів мають алюмінієві бронзи й нержавіючі сталі. Використовуються й неметалічні покриття - гуми й пластмаси.

Ослаблення кавітаційної ерозії шляхом насичення рідини в місці виникнення каверни газом (близько 0,1% повітря у воді досить, щоб запобігти ерозії й це не сприяє посиленню корозії в більшості металів), а також додавання спеціальних присадок у робочі рідини (хромати, емульсія ИНК-8).

Конструювання гідравлічних пристроїв із забезпеченням мінімальної інтенсивності кавітаційної ерозії.

Конструктивно досягти зміни частоти коливань гільзи циліндра в бажану сторону можна виконанням на її зовнішній поверхні ребер, певним орієнтуванням яких, можна розсікти омиваючий її потік і перешкодити утворенню бульбашкових каверн. Крім того, зміною товщини омиваючого шару рідини можна зміщати частоти змушених коливань гільзи в необхідному напрямку, тим самим, знижуючи інтенсивність кавітаційного зношування.

Одним з напрямків підвищення кавітаційної стійкості, є використання покриттів (табл. 1.3) [5]. Однак в умовах кавітації практично всі органічні покриття швидко руйнуються. Незміцнені ж поліуретанові покриття можуть привести до певного поліпшення тільки при вкрай низькій кавітації.

Таблиця 1.3- Швидкість зношування покриттів

Назва	Основа	Наповнювач	Швидкість зношування (мм ² /кДж)
JL 1040	-	-	5
Cerami Tech HG	Епоксидна смола	Частки карбиду й кераміки	8,2
ARC MX2	Епоксидна смола	Al ₂ O ₃	7,8
Siconit	Епоксидна смола	SiC + Al ₂ O ₃	2,8
Metalline 560	Поліуретан/поліефір	Немає	2,7-5,0*
Metalline 580	Поліуретан/поліефір	Немає	5,5-5,7*
Metalline 590	Поліуретан/поліефір	Немає	4,9-5,8

* Залежить від товщини шару

У цей час відомо кілька способів модифікації поверхні: нанесення зміцнюючого шару методом іонно-плазмового напилювання, детонаційне напилювання, плазмове наплавлення, газотермічне напилювання, високошвидкісне напилювання й ін. Однак більшість цих способів мають свої

недоліки. Гарні результати забезпечує газотермічне напилювання, яке дозволяє одержати високоякісні поверхневі шари деталей механізмів, що мають широку гаму властивостей. Дослідженнями встановлено, що зношування поверхні деталей слід класифікувати по наступним п'яти видам: тертя, фретинг, кавітація, зношування при термоциклюванні і корозія. Кожний із цих видів має свій набір критеріїв зносостійкості (табл. 1.4).

Таблиця 1.4- Показники критеріїв зношування

Основні фактори, що визначають зносостійкість	Види зношування				
	тертя	кавітація	фретинг	зношування при термоциклюванні	корозія
Когезійна міцність (sk)	жовтий	жовтий	жовтий	жовтий	червоний
Навантаження схоплювання ($P_{сх}$)	жовтий	червоний	жовтий	червоний	червоний
Робота виходу електронів матеріалів, які сполучаються ($A_{эв}$)	жовтий	червоний	червоний	червоний	жовтий
Потенціал пар, що сполучаються (j)	жовтий	червоний	червоний	червоний	жовтий
Струм корозії пар, що сполучаються (i)	жовтий	червоний	червоний	червоний	жовтий
Кут змочування поверхні кавітуючою рідиною (a)	червоний	жовтий	червоний	червоний	червоний
Число циклів ($N_{тц}$)	червоний	червоний	червоний	жовтий	червоний

Дисперсійний аналіз даних експериментів виявив особливу значимість когезійної міцності й навантаження схоплювання при виборі покриттів у вузлах тертя. Існує думка, що на зносостійкість литих (компактних) матеріалів впливає твердість поверхні. При дослідженні газотермічних покриттів було встановлено, що підвищення твердості покриттів часто знижує когезійну міцність [6].

Відомо, що кавітаційна стійкість монолітних матеріалів визначається їх

міцнісними властивостями, енергією поглинання й динамічними параметрами ударної хвилі.

На практиці застосовують різні методи підвищення кавітаційної стійкості поверхонь або усувають можливості для появи кавітації: більш досконалим конструюванням системи охолодження, що включає усунення різких переходів у перетинах; внесення дрібнодисперсних присадок в охолоджувальну рідину; створення дегазаційних камер у потоці охолоджувальної рідини; нанесення пластичних покриттів на робочу поверхню гільзи; нанесення міцнісних (шарів з підвищеною твердістю), що її демпфірують, пластичних (неметалічних) покриттів на зовнішню поверхню гільзи; зменшення зазорів у ЦПГ; підвищення жорсткості циліндро-поршневої групи.

Оскільки бічна сила N залежить від конструктивних особливостей двигунів, то основним засобом попередження кавітаційного руйнування гільз і блоків є більш досконале конструювання, що включає усунення різких переходів у перетинах, зменшення турбулентності, зменшення зазорів і підвищення жорсткості циліндро-поршневої групи. Однак слід мати на увазі, що усунення різких переходів у перетинах і зменшення турбулентності приведе до зниження приєднаної складової кавітації, у той час як зменшення зазорів і підвищення жорсткості циліндро-поршневої групи - до зниження вібраційної складової.

Добре відомі підходи до зменшення шкідливого впливу кавітації, засновані на внесенні дрібнодисперсних присадок в охолоджувальну рідину [6]. Наприклад, пропонується спосіб, що полягає в постійному поповненні присадки в охолоджувальній рідині, за допомогою використання фільтра, встановленого в системі охолодження двигуна.

Відомі також методи нанесення покриттів типу Ni-B, Ni -P, Ni - Co-P на робочу поверхню гільзи, що дозволяють одночасно з поліпшенням ковзання кілець по поверхні гільзи й підвищенням її антикорозійних властивостей, частково демпфірувати ударні навантаження з боку поршня.

До іншої групи заходів відноситься спосіб створення дегазаційних камер у потоці охолоджувальної рідини, що має високу ефективність, але досить

витратний з погляду реалізації.

Відомі методи нанесення зміцнюючих шарів, що й демпфірують покриття на зовнішню поверхню гільзи. Останні розробки в цьому напрямку пропонують формування на зовнішній поверхні твердого інертного шару, що утворює мережу каналів, що складається із кристалів $Mn_5H_2(PO_4)_4 \cdot H_2O$ розміром 2...8 мкм, щільно зчеплених з поверхнею гільзи. У результаті цього, схлопування вакуумних бульбашок відбувається на поверхні твердих кристалів, у видаленні від основного металу гільзи.

Переваги описаних вище методів можна було б поєднувати як за рахунок використання матеріалів покриттів, так і за рахунок керування процесами їх нанесення. Наприклад, використовуючи електроіскрову обробку зовнішньої поверхні гільзи з нанесенням на неї пластичних матеріалів можна було б забезпечити захист основного металу гільзи в процесі зношування за рахунок:

- на першому етапі пластичної деформації покриття під впливом ударних навантажень із боку вакуумних бульбашок;
- на другому етапі відділення часток покриття внаслідок його руйнування, і утворення в охолоджувальній рідині дрібнодисперсної суспензії, на поверхні часток якої відбувається схлопування вакуумних бульбашок.

При цьому, при нанесенні покриття, можливе формування на поверхні основного металу гільзи мережі каналів, сітки, «шахової дошки», що забезпечить додатковий захист зовнішньої поверхні гільзи.

1.3 Вплив кавітаційного зношування на герметичність камери згоряння

Важливість підвищення надійності деталей ЦПГ двигуна визначається тим, що саме від стану вузла ущільнення гільза-поршень-кільце залежать енерго-економічні показники й термін служби двигуна, а витрати на ремонт, відновлення й заміну деталей ЦПГ є найбільшими в порівнянні з витратами на ремонт, відновлення і заміну інших деталей двигуна.

У всіх сучасних автотракторних двигунів блок циліндрів і картер виконуються в одному виливку і тому мають назву «блок-картер». Блок-картер

виконує роль кістяка, до якого кріпляться й у якому розміщаються різні механізми, апарати й окремі деталі. У нижній частині до блок-картеру кріпиться піддон, що є резервуаром для масла. Під час руху трактора або автомобіля блок-картер сприймає значні динамічні навантаження. Відомо, що зносостійкість усіх деталей кривошипно-шатунного механізму залежить від жорсткості блока-картера.

Більшість автотракторних двигунів (у тому числі й двигун КамАЗ-740) мають конструкцію блок-картерів у яких встановлені знімні гільзи «мокрого типу», тобто гільзи, безпосередньо омивані охолоджувальною рідиною (рис. 1.8).

Мокры гільзи замінюються у випадку їх ушкодження без зняття двигуна із шасі. Вони вільно вставляються в напрямні і центруючі пояси блоку. Для створення стійкості й збереження геометричної форми гільзи під час роботи служать два напрямні пояси - у верхній і нижній її частинах. Нижній пояс має трохи менший діаметр. Опорні площини мокрої гільзи виконуються в кільцевих припливах блоку, твердість яких повинна забезпечувати, можливо, менше порушення геометричної форми гільзи при затягуванні силових шпильок.

Для забезпечення надійного газового стику торець гільзи повинен трохи виступати над опорною площиною блоку, тоді основна частина сили затягування шпильок буде припадати на фланець гільзи. Висота виступу може бути різною в різних конструкціях, в автотракторних двигунах вона змінюється в межах 0,05...0,15 мм.

Ущільнення нижнього стику мокрої гільзи й блоку досягається найчастіше за допомогою двох-трьох гумових кілець (рис. 1.8,в).

Але, не дивлячись на велику різноманітність конструкторських особливостей блок-картерів і способів установки гільз, деформація неминуче присутня в кожному двигуні.

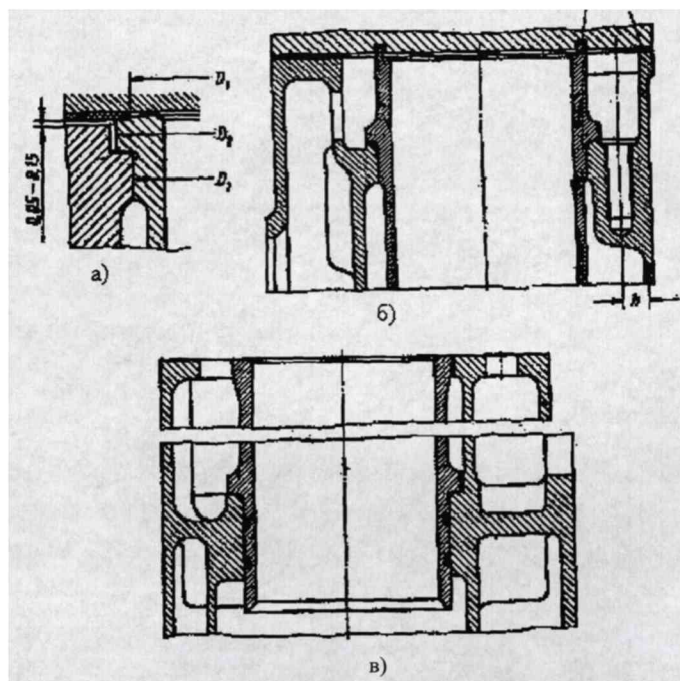


Рисунок 1.8 - Мокрі гільзи з верхнім, середнім і нижнім розташуванням опорних буртів

Досвід показує, що витік газу через зазор у замку мало позначається на роботі двигуна, за винятком пускового режиму, і лише трохи підвищує температуру поршня й кільця в зоні розташування замка. Пропуск газу повз торцеві й зовнішні поверхні кільця впливає інакше.

Обтікання гарячими газами кільця у випадку поганого торцевого ущільнення приводить до перегріву кільця і поршня, осушенню змащення, підвищенню зношування кільця, поршневих канавок і циліндра, до їхніх задирів.

Порушення контакту між кільцем і циліндром різко змінює тепловий режим кільця: воно не тільки не прохолоджується відводом тепла в стінки циліндра, але й підігрівається гарячим газом, що протікає у зазорі між кільцем і циліндром [7].

При плинні гарячого газу через просвіти між кільцем і циліндром осушуються від масла тертьові поверхні, внаслідок чого змінюється картина тертя й зростає сила тертя кільця, температура деталей пари тертя ще більш зростає. Тому важливим фактором для поліпшення газоущільнення є усунення просвітів між кільцем і циліндром. При наявності таких просвітів тиск газів може

впливати як на внутрішню, так і на зовнішню циліндричні поверхні кільця й не забезпечувати притиснення кільця до поверхні циліндра. Контакт між кільцем і циліндром повинен мати місце вже при складанні двигуна, тому що не можна покладатися на те, що приробіток його забезпечить.

Вплив деформації на ущільнюючі властивості кільця:

1) При всіх деформаціях циліндра (зміни розмірів, овалізація) кільце в замку втрачає контакт із циліндром. Виключенням є випадок, коли замок кільця перебуває на ділянці деформованого циліндра, що має ту ж кривизну, що й круглий циліндр номінального розміру. Однак і в цьому випадку при розміщенні замка не на одній з головних осей овалу, одна з гілок кільця відстає від стінок циліндра.

2) Поршневі кільця звичайно від повороту не фіксуються, і кільце в циліндрі може орієнтуватися будь-яким чином. Тому можна вважати, що найбільший кут втрати контакту обумовлений овалізацією циліндра при розташуванні замка на більшій півосі овалу. Помітимо, однак, що крім дуги просвіту, герметичність, забезпечувана кільцем у циліндрі, залежить від ширини й площі просвіту, що утворюється. Ці показники залежать не тільки від величини, але й від ряду деформації циліндра.

3) Причиною втрати контакту кільця в замку, є зміна в місці розташування замка кривизни циліндра. Тому при складних деформаціях циліндра (одночасна зміна розміру й овалізація) найбільш несприятливими випадками будуть ті, при яких елементарні деформації циліндра змінюють його кривизну в одному напрямку. Інакше кажучи, у циліндрі зменшеного розміру необхідно враховувати випадок розташування замка на більшій осі овалу, а в циліндрі збільшеного розміру - випадок розташування замка на малій осі овалу.

Критеріями, по яких судять про незадовільну роботу ЦПГ це зниження компресії, підвищення вигару масла, збільшення тиску картерних газів. По суті, ці показники є наслідком того самого дефекту - втрати ущільнюючих властивостей поршневими кільцями. Якщо двигун відробив свій доремонтний ресурс, то в цьому випадку до таких наслідків приводить зношування ЦПГ, тобто

зношування дзеркала циліндра, зношування поршневих кілець, втрата ними пружних властивостей, зношування стінки поршня. Нормальна й надійна робота двигуна залежать від стану його деталей. Циліндри зношуються внаслідок тертя по їхню поверхню поршнів і кілець. У результаті зношування вони стають по висоті конусними, а в перетині овальними. Більшою мірою зношується верхня частина циліндра. Це пояснюється недостатнім змащенням і високою температурою у верхній частині циліндра, а також тим, що газ, потрапляючи під верхнє (перше) поршневе кільце, притискають його до стінок циліндра з великою силою. І в цьому випадку, незважаючи на вжиті заходи по поліпшенню трибологічних характеристик сполучених поверхонь, зношування буде близьке до катастрофічного.

Для визначення ступеня зношування ЦПГ користуються непрямими показниками, представленими в табл. 1.5.

Таблиця 1.5- Нормативні значення діагностичних параметрів

Параметр	Значення параметра		
	номінальне	що допускається	граничне
Кількість газів, що прориваються в картер, л/хв	50	125	135
Витрата масла на вигар,%	0,6	2,5	2,6
Тиск наприкінці такту стиску, МПа	3,5	-	2,0

Існує кілька основних причин, які можуть викликати деформацію циліндра:

- технологічні, під ними необхідно розуміти відхилення геометричних розмірів, зв'язане зі збоєм у технологічному устаткуванні;
- монтажні, проявляються при складанні двигуна;
- експлуатаційні, викликаються зношуванням гільз.

До всього вищесказаного слід віднести й те, що сама гільза втрачає свою

просторову твердість після ремонтних впливів на неї (розточення, хонінгування), а також внаслідок кавітаційного руйнування гільзи.

Це приводить до висновку, що необхідні додаткові заходи, спрямовані на зменшення деформації гільзи циліндра при установці її в блок-картер.

Прорив газів через кільця в картер приводить до негативних наслідків - зниженню потужності двигуна, підвищенню витрати палива й масла, погіршенню його екологічних показників, закоксуванню поршневих кілець зі зростаючої в часі ймовірністю їх поломки тощо. Процес прориву газів носить лавиноподібний характер, тобто в результаті згоряння моторного масла утворюються тверді частки, які утягуються в процес абразивного зношування [8]. Ці зміни носять незворотний характер, і подолати наслідки можна, тільки зробивши позачерговий ремонт двигуна, замінивши всі деталі ЦПГ.

Правильно задана еюра радіальних тисків кільця з витримуванням її в межах мінімальних допусків у технологічному процесі може подолати, наприклад, наслідок зміни діаметра гільзи. Погіршення контакту буде відбуватися при овалізації гільзи. У цьому випадку спостерігаються різкі перепади тисків на стінку гільзи і, отже, при подальшій експлуатації буде спостерігатися підвищене зношування й кілець і гільзи в цих зонах. Більше того, може відбуватися відрив робочих поверхонь кільця й гільзи друг від друга. Тоді подальше функціонування ЦПГ зі збереженням вихідної герметичності неможливо взагалі.

Деформації стінки гільзи, поряд з механічним зношуванням внутрішньої поверхні гільзи будуть суттєво погіршувати герметичність ЦПГ, опосередковано знижуючи всі характеристики двигуна.

Експериментальні дослідження були спрямовані на з'ясування впливу розташування й величину зон кавітаційного й механічного зношування внутрішньої поверхні гільзи (пробігу двигуна) на деформацію гільзи циліндра двигуна КамАЗ.

Оскільки гільза являє собою циліндричну оболонку, то при виникненні осьових навантажень неминуче повинні виявитися характерні риси втрати

стійкості оболонки. Були проведені дослідження деформації зовнішньої стінки гільзи при прикладенні дискретних навантажень, починаючи від 2500 Н до 40000 Н для гільз: нова без пробігу; із пробігом 70000 км і без слідів кавітаційного зношування; із пробігом 70000 км і сильним кавітаційним зношуванням глибиною до 3 мм у вигляді окремих отворів; із пробігом 450000 км і сильним кавітаційним зношуванням (глибина виразок доходить до половини товщини стінки на поверхні від нижньої до верхньої мертвої крапки). Зведений графік, що дозволяє простежити кінетику змін характерних деформацій залежно від пробігу двигуна, наведений на рис. 1.9 [8].

Було виявлено, що форма деформацій залишається незмінною як для нових гільз, так і для гільз із більшим кавітаційним зношуванням зовнішньої поверхні. Величина ж деформацій росте зі збільшенням пробігу автомобілів і для гільз із сильним зношуванням зовнішньої поверхні досягає значень, на порядок більших, ніж деформації нових гільз.

Відомі результати досліджень падіння тиску в ресивері компресора аеродинамічної труби при моделюванні деформації гільзи, характерної для блоку двигуна [9]. Деформації моделювалися у двох площинах - паралельної осі поршневого пальця (зона меншої жорсткості), і перпендикулярної осі поршневого пальця. В останньому випадку поршневий палець створює, фактично, додаткове ребро жорсткості.

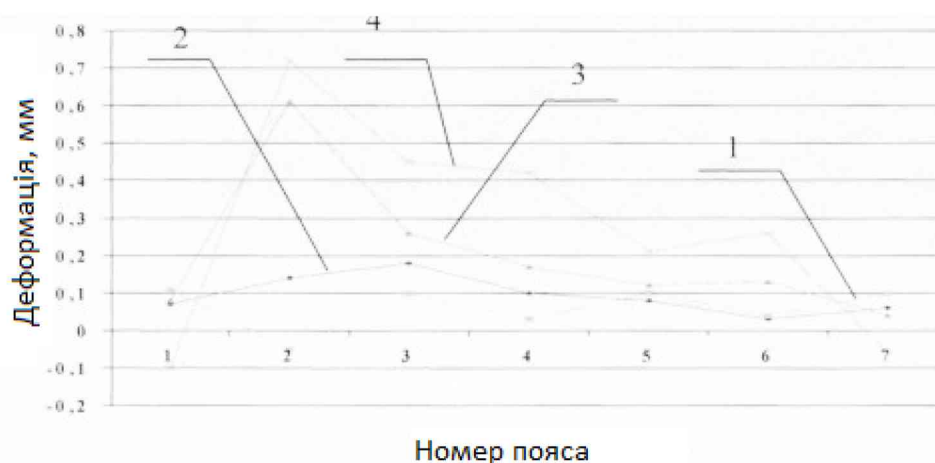


Рисунок 1.9 - Зведений графік деформацій стінки гільзи:

1 - гільза без пробігу, 2 - гільза із пробігом 70000 км без слідів кавітаційного зношування, 3 - гільза із пробігом 70000 км зі слідами сильно

вираженого кавітаційного зношування, 4 - гільза із пробігом 450000 км із сильно вираженим кавітаційним зношуванням

Крім того, було визначено, що гільза втрачає стійкість у перетині 85-90 мм від верхнього бурту гільзи, де спостерігалися самі значні абсолютні значення деформації. Одночасно із цим перетином, був досліджений прорив газів при деформації гільзи наприкінці робочого ходу, тобто в зоні нижньої мертвої крапки.

Деформації гільзи, і зношування (робочої й зовнішньої поверхонь) приводять до падіння ущільнюючих характеристик ЦПГ. Це, у свою чергу, приведе до падіння потужності й екологічної безпеки всього двигуна.

Крім того, найбільшою величиною деформацій, що допускаються, слід вважати величину не більш 30 мкм; деформація гільзи, характерна для блоку двигуна, приводить до падіння герметичності вузла ущільнення ЦПГ не менш, ніж на 10%; деформації, перпендикулярні осі поршневого пальця, сильніше впливають на зниження герметичності, що пов'язано з меншою жорсткістю всього вузла ущільнення в цьому напрямку; герметичність більш критична до деформацій, коли поршень перебуває в н.м.к., ніж у зоні 85 мм від верхнього бурту гільзи.

1.4 Ціль і завдання дослідження

Проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

1. двигун є найбільш складним і відповідальним агрегатом автомобіля, на який в експлуатації доводиться до 45% несправностей, з них близько 44% становлять відмови деталей циліндро-поршневої групи;
2. втрата працездатності циліндро-поршневої групи походить від зміни форми деталей і є основною причиною підвищення інтенсивності зношування деталей і скорочення їх ресурсу;
3. практично відсутні дані про характер інтенсивності кавітаційного зношування гільз і можливостях впливу на нього у двигунах сімейства КамАЗ;
4. існуючі способи відновлення працездатності складальних одиниць

не забезпечують високий рівень надійності й прийнятну кавітаційну стійкість відремонтованих гільз циліндрів;

5. необхідні додаткові заходи, спрямовані на зменшення інтенсивності кавітаційного зношування гільз циліндрів.

Таким чином, метою дослідження є підвищення кавітаційної стійкості циліндро-поршневої групи двигуна КамАЗ шляхом створення на її зовнішній поверхні пористого покриття, що перешкоджає утворенню вакуумних пухирців (розриву суцільності рідини).

Для реалізації зазначеної мети в роботі поставлені наступні завдання досліджень:

1. Провести аналіз літературних джерел, визначити фактори, що впливають на кавітаційне зношування гільз циліндрів, розглянути існуючі способи їх відновлення.

2. Запропонувати і дослідити спосіб формування на зовнішній поверхні гільзи пористого покриття.

3. Досліджувати масовтрати відновлених гільз циліндрів від впливу кавітації і показники теплопередачі; оцінити їхній вплив на ресурс циліндро-поршневої групи.

2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма дослідження

Програма дослідження включає:

- вибір напрямку й способів підвищення кавітаційної стійкості гільз циліндрів;
- лабораторні дослідження зразків з антикавітаційними покриттями на інтенсивність зношування (по показникові втрати маси);

Об'єкт дослідження - закономірності кавітаційного зношування зовнішньої поверхні гільз циліндрів з нанесеними пористими покриттями.

Предмет дослідження - зміна кавітаційної стійкості гільз 7406.1002021 при нанесенні пористих покриттів на охолоджувану поверхню.

2.2 Методика дослідження кавітаційних руйнувань

До методів оцінки кавітаційної стійкості матеріалів відносяться наступні: удар струменя по обертовому й нерухливому зразках; випробування ерозійної стійкості матеріалів в умовах гідродинамічної кавітації в поверхні зразка; дослідження ерозійної стійкості матеріалів на нерухливих зразках з кільцевими збудниками коливальних; дослідження кавітаційної ерозії на магнітострикційних вібраторах.

Методи удару струменя по обертовому й нерухливому зразках непридатні для дослідження стосовно до деталей дизелів, оскільки процес кавітаційного ушкодження в них не імітується тому що кінетика процесу не враховує специфіки руйнувань у дизелях.

Методи випробування ерозійної стійкості матеріалів в умовах гідродинамічної кавітації в поверхні зразка й дослідження ерозійної стійкості матеріалів па нерухливих зразках з кільцевими збудниками коливальних також мають істотні недоліки, що обмежують їхнє застосування. Перший метод дуже тривалий за часом, а другий вимагає великої кількості зразків.

Тому був обраний варіант проведення випробувань в ультразвуковій ванні (УЗВ), (рис. 2.1). Сутність цього способу полягає в тому, що випробуваний зразок, занурений у робочу рідину здійснює поздовжні коливання з різними

амплітудами. Коливання стрижня або концентратора відбуваються під впливом змінного магнітного поля, створюваного обмоткою збудження. Слід підкреслити, що процеси, які протікають при випробуваннях на УЗВ, і процеси кавітаційного руйнування ідентичні. Крім того, є можливість досліджувати впливи на кавітаційні руйнування таких параметрів, як частота коливань, температура, в'язкість рідини, швидкість плинину рідини та ін. Час дослідження обмежується декількома хвилинами або десятками хвилин, що дозволяє за короткий проміжок часу зробити оцінку необхідної кількості прийнятих рішень.



Рисунок 2.1 - Ультразвукова ванна, використовувана при проведенні досліджень

Зразки для випробувань являють собою плоскі пластини, вирізані з тіла гільзи двигуна КамАЗ-740 (рис. 2.2).

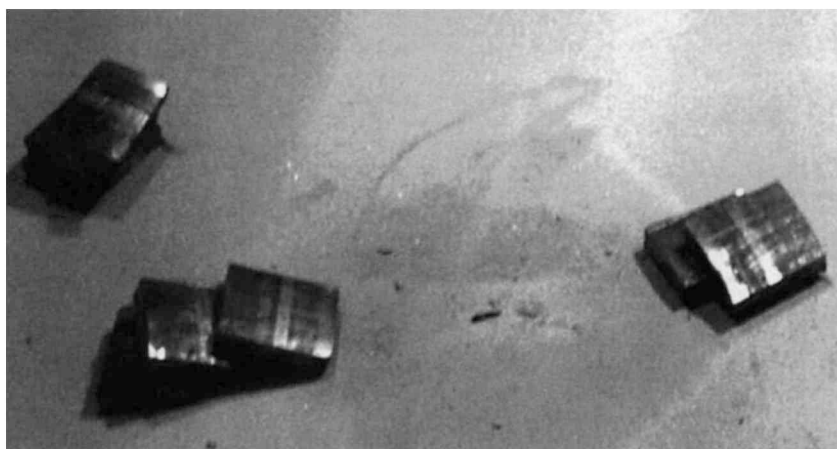


Рисунок 2.2 - Плоскі зразки, вирізані зі стінки гільзи двигуна КамАЗ-740

Матеріал гільзи циліндрів - чавун спеціальний, хімічний склад чавуну наведений у табл.2.1.

Таблиця 2.1- Хімічний склад зразків (%)

Елемент	Стінка не зазнала кавітаційного зношування	Стінка зазнала кавітаційне зношування
Mo	0,27	0,34
Al	0,13	0,17
Si	0,06	0,09
Ca	0,14	0,18
Ti	0,08	0,9
V	0,06	0,03
Cr	0,38	0,34
Mn	1,05	0,65
Fe	97,10	96,58
Ni	0,19	0,33
Cu	0,53	0,65

Оцінка ерозійного руйнування проводиться по зміні маси після проведення експерименту, а також по глибині кавітаційних раковин. Вага до й після експерименту оцінювалася за допомогою ваг ВЛР-200 ГОСТ 24104-88Е с точністю 0,5 мг через кожні 0,5 год протягом 4 годин випробувань.

Величина руйнувань при випробуваннях на УЗВ і при кавітаційних руйнуваннях гільзи дизелів підкоряється одному закону:

$$\Delta G = a' S_c^\alpha t^{n_1}, \quad (2.1)$$

де a' - коефіцієнт, що залежить тільки від матеріалу зразка;

α і n_1 - показники ступенів.

2.3 Методика нанесення покриттів за допомогою електроіскрової обробки (ЕІО)

Вибір матеріалів електродів здійснювався виходячи з аналізу літературних джерел і попередніх досліджень у даному напрямку [10]. Нанесення покриття на зразки здійснювалося на установці «Електрон 22 БМ1» (рис. 2.3).

Енергетичні характеристики установок «Електрон 22БМ» представлені в

табл. 2.2.

Діаметр електрода при проведенні експериментів по першому напрямку вибирався залежно від енергетичного режиму установки й становив 3-4 мм для 4 режиму, 5 мм - для 5 режиму.

Експерименти по першому напрямку досліджень робили на 4-у і 5-у режимах, змінюючи на кожному з режимів частоту вібрації електрода від 150 до 250 Гц із інтервалом 50 Гц. Тривалість імпульсу становила 2,5-3 мс, амплітуда коливань електрода підбиралася індивідуально до кожного з режимів.

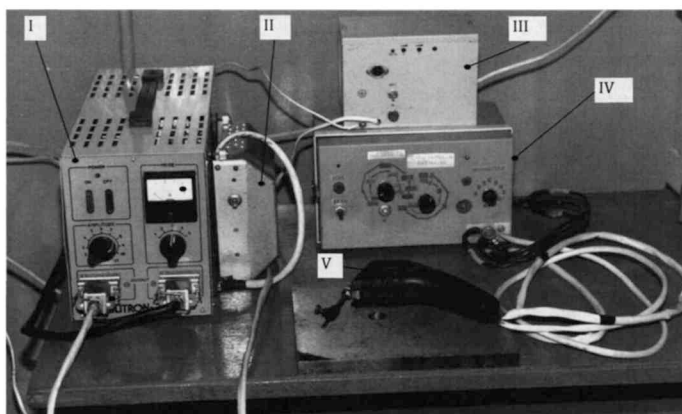


Рисунок 2.3 - Загальний вид установки для нанесення покриття методом ЕІО «Електрон 22БМ»

I - установка «Електрон 22БМ»; II -Блок RC генератора; III- блок живлення для головки віброзбудника з зворотно - поступальним і обертовим рухом стрижневого електрода; III, IV- блоки регулювання частоти подачі імпульсів, їх тривалості й амплітуди; V - головка віброзбудника з зворотно - поступальним рухом електрода.

У процесі електроіскрової обробки, після нанесення шару в плинні 1 хв зразки прохолоджували на повітрі, знежирювали ацетоном і вимірювали. Якість поверхневого шару зразків, суцільність оцінювали за допомогою мікроскопа МІМ-8. Це дозволяло виявити зовнішні дефекти покриття: несцільність, поверхневі пори, раковини.

При оцінці суцільності покриття визначали довжину зони з'єднання покриття з основним металом і загальну довжину досліджуваної ділянки.

Суцільність покриття визначали по формулі:

$$C = \frac{L_{зс}}{L_{общ}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де С - суцільність покриття, %; $L_{зс}$. - сумарна довжина зон з'єднання покриття з основним металом; $L_{общ}$.- довжина досліджуваної ділянки зразка.

Таблиця 2.2 - Основні енергетичні характеристики установки «Електрон-22БМ»

Найменування параметра	Режими установки				
	1	2	3	4	5
Середнє значення зарядного струму, А	0,3	0,4	0,6	2,6	3,8
Амплітуда напруги на накопичувальному конденсаторі, В	45	67	67	96	96
Ємність накопичувальних конденсаторів, МкФ ± 30 %	60 ± 20	60 ± 20	60 ± 20	360 ± 120	360 ± 120
Енергія розряду, Дж	0,06	0,13	0,28	0,81	1,66
Частота вібрації електрода, Гц	150-350				
Амплітуда коливання електрода, одиниці	1-10				
Тривалість затримки імпульсів, мс	0,2-3,5				

Первинна обробка результатів експерименту полягала у визначенні товщини шару металопокриття й суцільності покриття зразків.

Для кожного варіанта технологічних режимів і матеріалу електрода експеримент повторювали три рази, після чого результати усереднювалися.

3.4 Методика нанесення покриттів газодинамічним напилюванням і визначення їх фізико-механічних властивостей

При проведенні експериментальних досліджень по газодинамічному напилюванню поверхонь використовувалося устаткування ДИМЕТ (рис. 2.4), конструкція якого забезпечує створення повітряного надзвукового потоку, введення в цей потік часток порошкового матеріалу й прискорення часток до швидкості, необхідної для нанесення покриттів.

У цей час випускається три модифікації установок для холодного газодинамічного напилювання (ХГДН): моделі 402, 403, 412, які призначені для ручного нанесення ряду металевих покриттів. Основні технічні характеристики

установок представлені в табл. 2.3.

Устаткування також дозволяє робити струминно-абразивну обробку поверхонь (очищення поверхонь від забруднень). Для нанесення бабітових покриттів додатково до устаткування ДИМЕТ випускається спеціальний сопловий блок СББ-03.

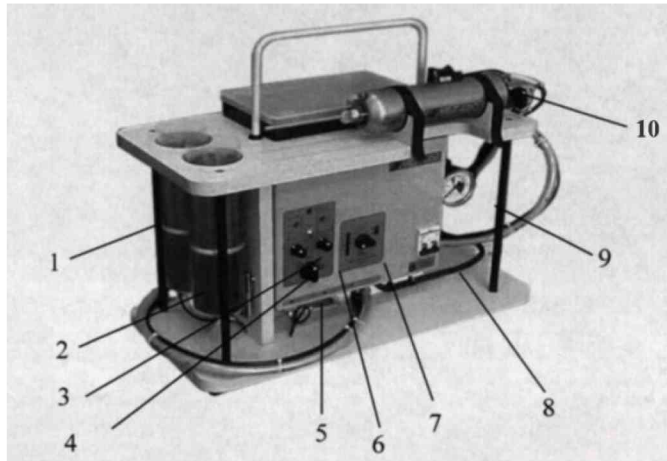


Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд установки для газодинамічного напилювання ДИМЕТ моделі 403: 1 - живильник порошку для піскоструминної обробки; 2 - живильник порошку для нанесення матеріалу; 3 - тумблер включення примусового струшування; 4 - рукоятка витрати порошку піскоструйки; 5 - рукоятка перемикачів; 6 - рукоятка витрати порошку для нанесення; 7 - рукоятка перемикачів енергетичного режиму; 8 - кнопка включення установки; 9 - манометр реєстрації тиску; 10- напилювальна головка

Для роботи встаткування необхідне стиснене повітря тиском 0,6-1,0 МПа, витрата 0,3-0,4 м³/хв. Чистота повітря відповідно ГОСТ 17433-80 повинна відповідати класам 1, 3, 5, а електромережа забезпечувати напругу 220 В, 50 Гц.

Для проведення випробувань підготовлялися зразки - з метою поліпшення зчеплення покриття з основним металом їх поверхня зазнала піскоструминній обробці. Далі на їхню поверхню наносився шар металопокриття товщиною до 1 мм. У якості матеріалу для нанесення використовувався порошок алюмінію із цинком марки А-80-13 і мідь марки С-01-01. Енергетичний режим обробки 3,

витрата матеріалу 1,1 - 1,2 см³/хв.

Таблиця 2.3- Технічні характеристики устаткування ДИМЕТ

Показник	Модель		
	402	403	412
Напруга живильної мережі, В (Гц)	220 (50)	220 (50)	220 (50)
Споживана потужність, кВт	2,3	3,2	2,8
Кількість режимів напилювання покриттів	Один	П'ять	Два
Продуктивність по масі нанесеного покриття на основі алюмінію, г/хв.	1-3 (0,3-1 см ³ /хв)	1-6 (0,3-2 см ³ /хв)	1-04 (0,3-1 см ³ /хв)

Оцінку міцності зчеплення металопокриття з основним металом проводили за методикою, яка полягає в тому, що циліндричний зразок з досліджуваного матеріалу з нанесеним на нього у вигляді кільцевого паска покриттям продавлюється через матрицю. При цьому під дією дотичних напружень відбувається відшаровування покриття, а напруги зрушення характеризує міцність зчеплення.

Випробування здійснювалися на гідравлічній розривній машині моделі Р-0,5, що забезпечує навантаження із заданою постійною швидкістю переміщення штока й вимір навантаження з погрішністю не більш 1 %. Кожний варіант покриттів і режим його нанесення випробовували на трьох зразках.

Межа міцності зчеплення покриття з основним металом при зрушенні визначали по формулі:

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h}, \text{ МПа} \quad (2.3)$$

де Р - максимальне навантаження, що передує руйнуванню покриття, Н; h - ширина паска, мм; D - діаметр зразка, мм.

2.5 Методика визначення температури гільзи з нанесеним покриттям

Для визначення впливу нанесеного покриття на температуру зовнішньої стінки гільзи були проведені дослідження теплопередачі. Методика проведення досліджень полягала в наступному: гільза встановлювалася на газовий пальник,

потім протягом 5 хв визначався ріст температури зовнішньої стінки (рис. 2.5) по висоті гільзи, починаючи від верхнього бурту через 40 мм у трьох площинах.

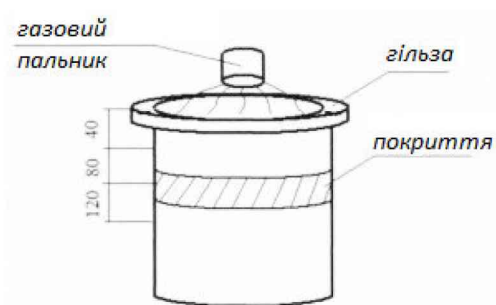


Рисунок 2.5 - Схема виміру температури зовнішньої стінки гільзи

Реєстрація температури здійснювалася за допомогою радіаційного пірометра CENTER 350 (рис. 2.6), що має наступні характеристики: погрішність виміру $\pm 2^{\circ}\text{C}$ у діапазоні температур $-20\dots+500^{\circ}\text{C}$; дискретність показань приладу $0,5^{\circ}\text{C}$; час виміру 0,5 с; спектральний діапазон 7...18 мкм; показник візування 8:1.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд радіаційного пірометра CENTER 350

верхнього опорного бурту, на поршень установлювалося тільки верхнє поршневе кільце.

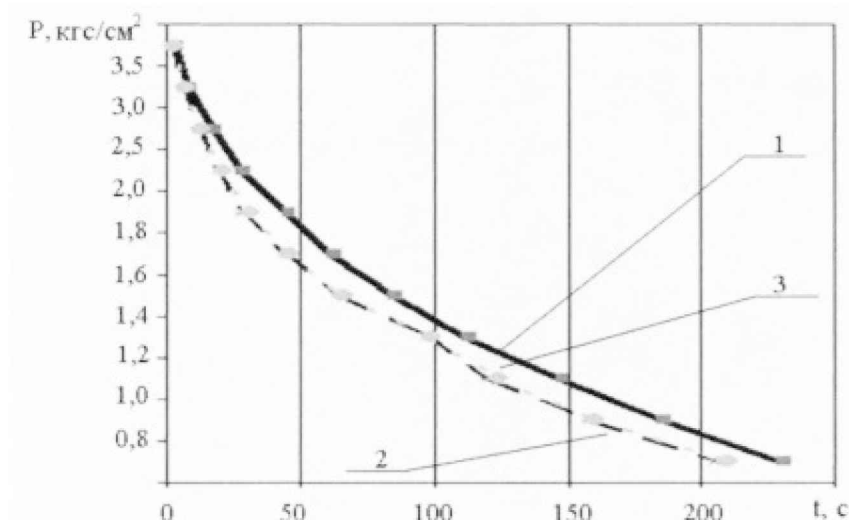


Рисунок 3.2 - Падіння тиску в надпоршневому просторі при використанні нових деталей ЦПГ (поршень перебуває в н.м.т.):

1 - гільза не деформована; 2 - деформація змодельована паралельно осі поршневого пальця; 3 - деформація змодельована перпендикулярно осі поршневого пальця

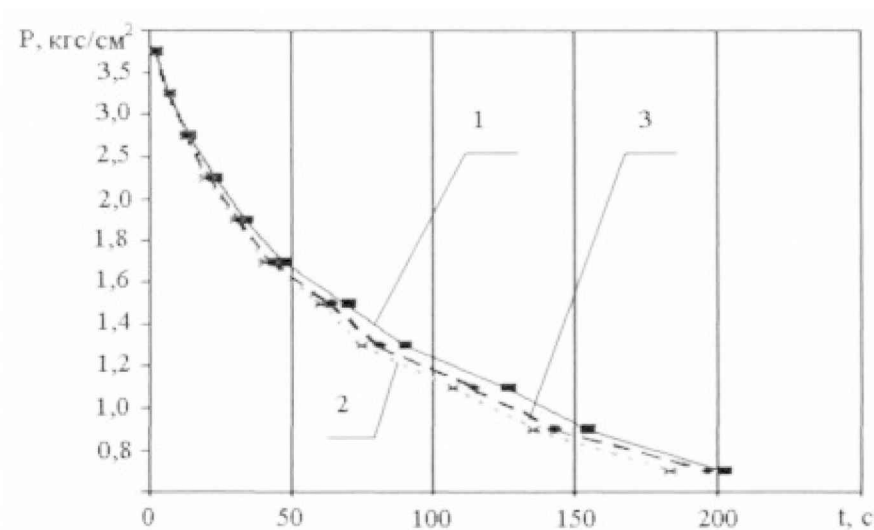


Рисунок 3.3 - Падіння тиску в надпоршневому просторі при наявності кавітаційного зношування на зовнішній поверхні гільзи (позначення ті ж)

На рис. 3.4 і рис. 3.5 наведені графіки зміни тиску кільця на стінку гільзи при її деформації (епюра радіальних тисків кільця -грушоподібна зі ступенем корекції $z=1,4$; початок графіка відповідає спинці кільця).

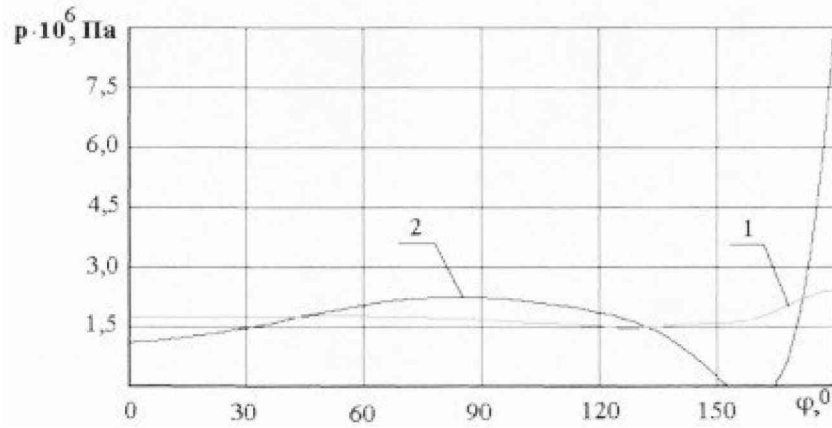


Рисунок 3.4 - Розподіл тиску кільця на стінку гільзи (зона $\varphi = 155^\circ \dots 165^\circ$ від спинки - втрата контакту) при овалізації гільзи, більший діаметр овалу розташований уздовж осі: спинка-замок кільця: 1 - вихідна еюра радіальних тисків; 2 - еюра кільця в деформованій гільзі

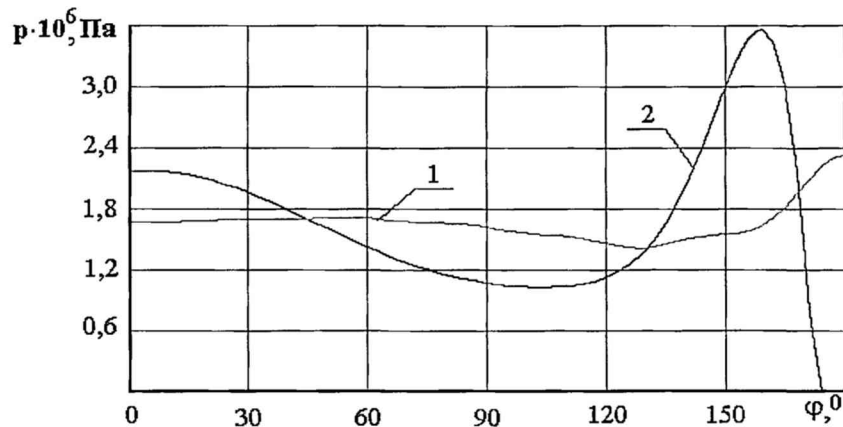


Рисунок 3.5 - Розподіл тиску кільця на стінку гільзи (зона $\varphi = 173^\circ \dots 180^\circ$ від спинки - втрата контакту) при овалізації гільзи, більший діаметр овалу розташований перпендикулярно осі: спинка-замок кільця (позначення ті ж)

3.2 Дослідження впливу нанесених покриттів на кавітаційне зношування стінки гільзи

Як було показано вище, серед пропонованих методів боротьби, що заслуговують уваги є методи нанесення покриттів на робочу поверхню гільзи, що дозволяють одночасно з поліпшенням ковзання кілець по поверхні гільзи й підвищення антикорозійних властивостей її поверхні частково демпфірувати ударні навантаження.

Відомі методи нанесення зміцнюючих (шарів з підвищеною твердістю), що демпфірують (пластичних, неметалічних) покриттів на зовнішню поверхню

гільзи. Останні розробки в цьому напрямку пропонують формування на зовнішній поверхні твердого інертного шару, що утворює мережу каналів. Ціль такого зміцнення - схлопування вакуумних пухирців на поверхні твердих кристалів, тобто у відносному видаленні від основного металу гільзи [12].

На підставі аналізу відомих покриттів і їх властивостей, а також методів і способів їх нанесення було обрано 4 типи: мідь М1 і бронза Бр- К-Мц, і порошки А-80-13 що містить алюміній, і С-01-01, що містить мідь. У якості способів нанесення були використані електроіскрова обробка (ЕІО) і холодне газодинамічне наплавлення (ХГДН).

Аналіз графіків, наведених на рис. 3.6, дозволяє зробити висновок, що найкращим антикавітаційним покриттям є бронза Бр-К-Мц, нанесена за допомогою електроіскрової обробки. При цьому, нанесення порошку А-80-13 дозволяє знизити кавітаційне зношування в 2,5...4, 5 рази; порошку С-01-01 - в 3,3...6, 7 рази; міді М1 - в 4,0...6,8 разів; бронзи БР-К- Мц - в 9,1...14,9 рази.

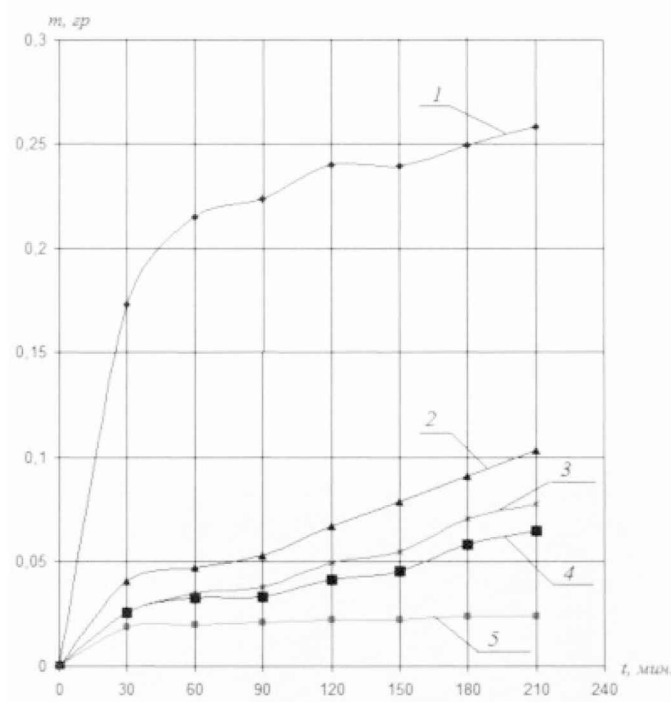


Рисунок 3.6 - Результати зміни маси зразків у процесі кавітаційного зношування на УЗВ: 1 - вихідний зразок без покриття;

2 - зразок з нанесеним порошком А-80-13;

3 - зразок з нанесеним порошком С-01 -01; 4 - зразок з нанесеною міддю М1;

5 - зразок з нанесеною бронзою Бр- К-Мц

Додатковим позитивним фактором є стабілізація процесу зношування зразка з нанесеною бронзою вже по закінченні 25-30 хвилин, у той час як на інших зразках стабілізація не настала навіть після 210 хвилин.

Слід урахувати той факт, що не слід очікувати десятикратного зниження кавітаційного зношування на двигуні, оскільки на процес зношування впливають безліч факторів, які неможливо врахувати при дослідженнях на УЗВ [13]. Причому ці фактори відіграють як позитивну роль, сповільнюючи процес, так і негативну, прискорюючи його.

3.3 Дослідження впливу антикавітаційного покриття, формованого на зовнішній поверхні гільзи, на температуру її стінки

З літературних джерел відомо, що температура в зоні поршневих кілець досягає значень 250-320 °С [14, 15]. Єдиним стримуючим фактором росту температури є охолодження гільзи, зокрема, шляхом циркулювання рідини з боку її зовнішньої поверхні. Відсутність охолодження або короткочасне припинення циркуляції (наприклад, внаслідок поломки помпи) приводить до лавиноподібного росту температури, «задирам» гільз циліндрів і наступному заклинюванню деталей циліндро- поршневої групи.

Тому були проведені дослідження розподілу температури по висоті гільз із нанесеним покриттям для оцінки можливості їх застосування. На 12 гільз (по одному покриттю на кожні три гільзи) були нанесені мідь М1 і бронза Бр-К-Мц методом електроіскрової обробки, а також порошки А-80-13 і С-01-01 методом холодного газодинамічного напилювання.

Результати вимірів наведені на рис. 3.7-3.10 які побудовано по таблиці 3.1.

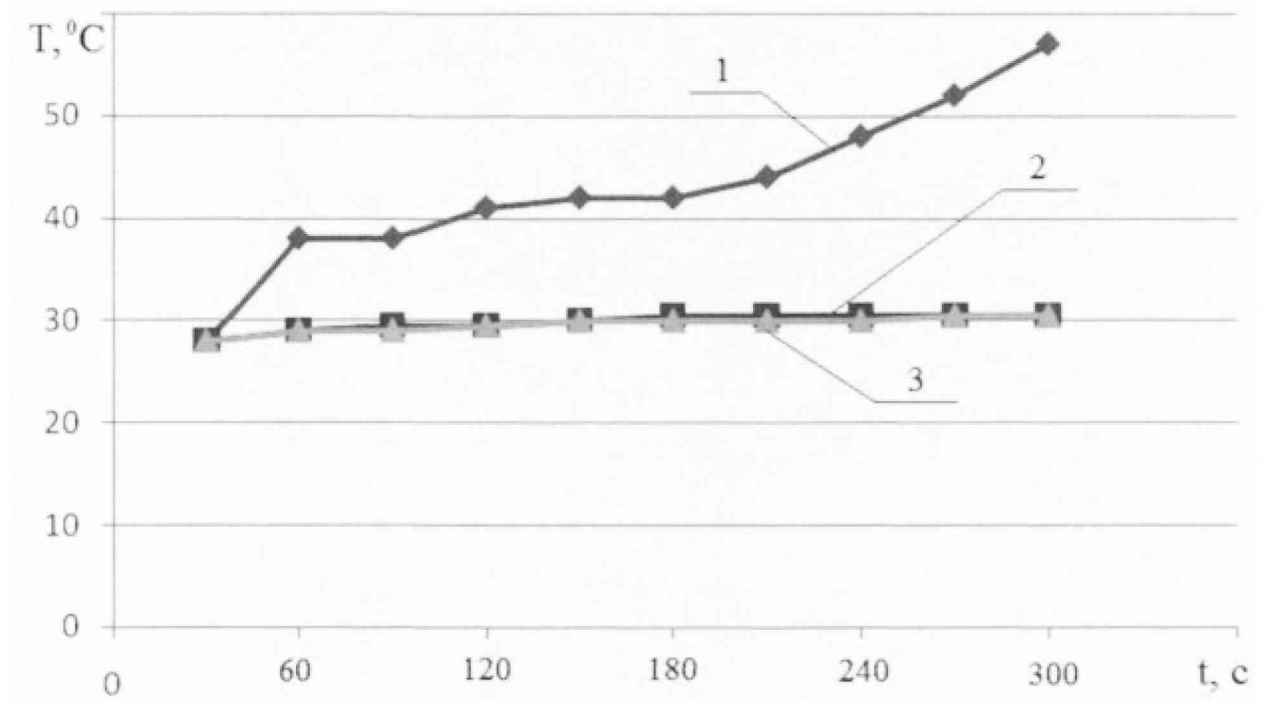


Рисунок 3.7 - Результати виміру температури гільзи з нанесеним порошком А-80-13 у зоні максимального кавітаційного зношування: 1 - 40 мм від верхнього бурту; 2-80 мм від верхнього бурту; 3-120 мм від верхнього бурту

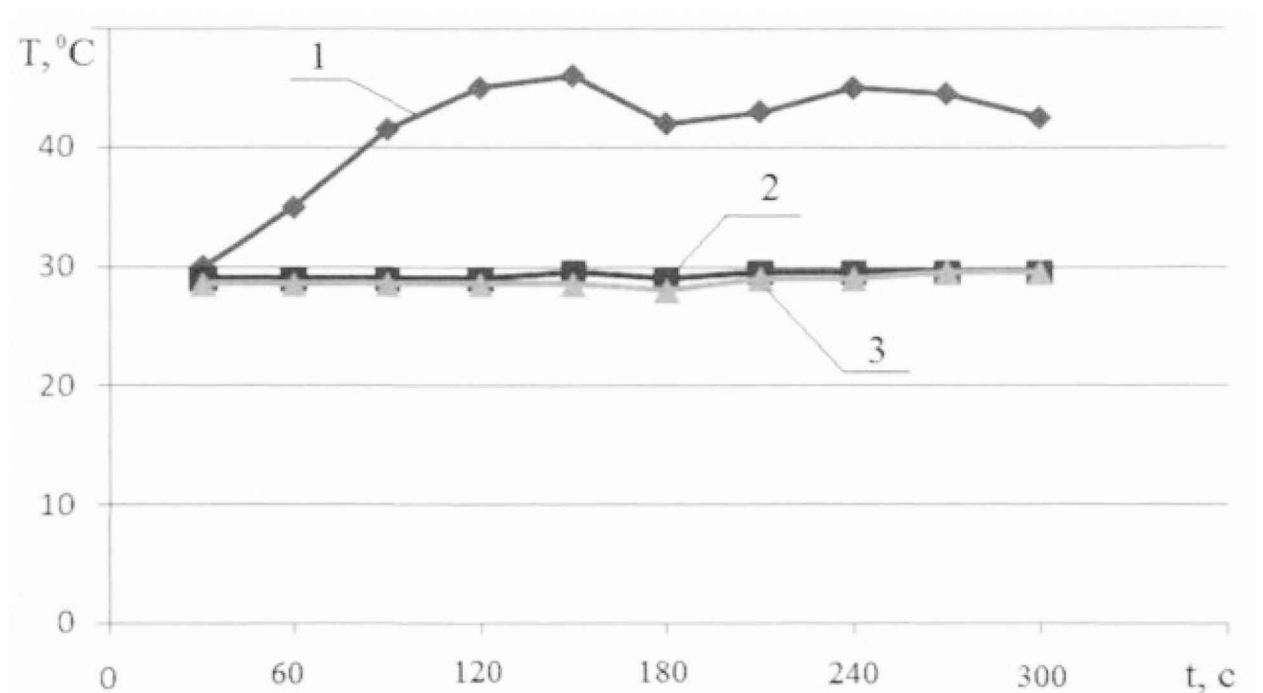


Рисунок 3.8 - Результати виміру температури гільзи з нанесеним порошком С-01-01 у зоні максимального кавітаційного зношування (позначення ті ж)

Таблиця 3.1 - Результати виміру температури гільзи з нанесеними покриттями

ХГДН, А-80-13				ХГДН, С-01-01			
Час, с	Висота від верхнього бурту			Час, с	Висота від верхнього бурту		
	40 мм	80 мм	120 мм		40 мм	80 мм	120 мм
30	28	28	28	30	30	29	28,5
60	38	29	29	60	35	29	28,5
90	38	29,5	29	90	41,5	29	28,5
120	41	29,5	29,5	120	45	29	28,5
150	42	30	30	150	46	29,5	28,5
180	42	30,5	30	180	42	29	28
210	44	30,5	30	210	43	29,5	29
240	48	30,5	30	240	45	29,5	29
270	52	30,5	30,5	270	44,5	29,5	29,5
300	57	30,5	30,5	300	42,5	29,5	29,5
ЕЮ, М1				ЕЮ, Бр- К-Мц			
Час, с	Висота від верхнього бурту			Час, с	Висота від верхнього бурту		
	40 мм	80 мм	120 мм		40 мм	80 мм	120 мм
30	30	29	28,5	30	32	28	27
60	35	29	28,5	60	39	28	27,5
90	41,5	29	28,5	90	43	29	28
120	45	29	28,5	120	44	28,5	28
150	46	29,5	28,5	150	47	29	29
180	42	29	28	180	47,5	29	28
210	43	29,5	29	210	46	29	28,5
240	45	29,5	29	240	48	29,5	28,5
270	44,5	29,5	29,5	270	47	29,5	28,5
300	42,5	29,5	29,5	300	48	30	29

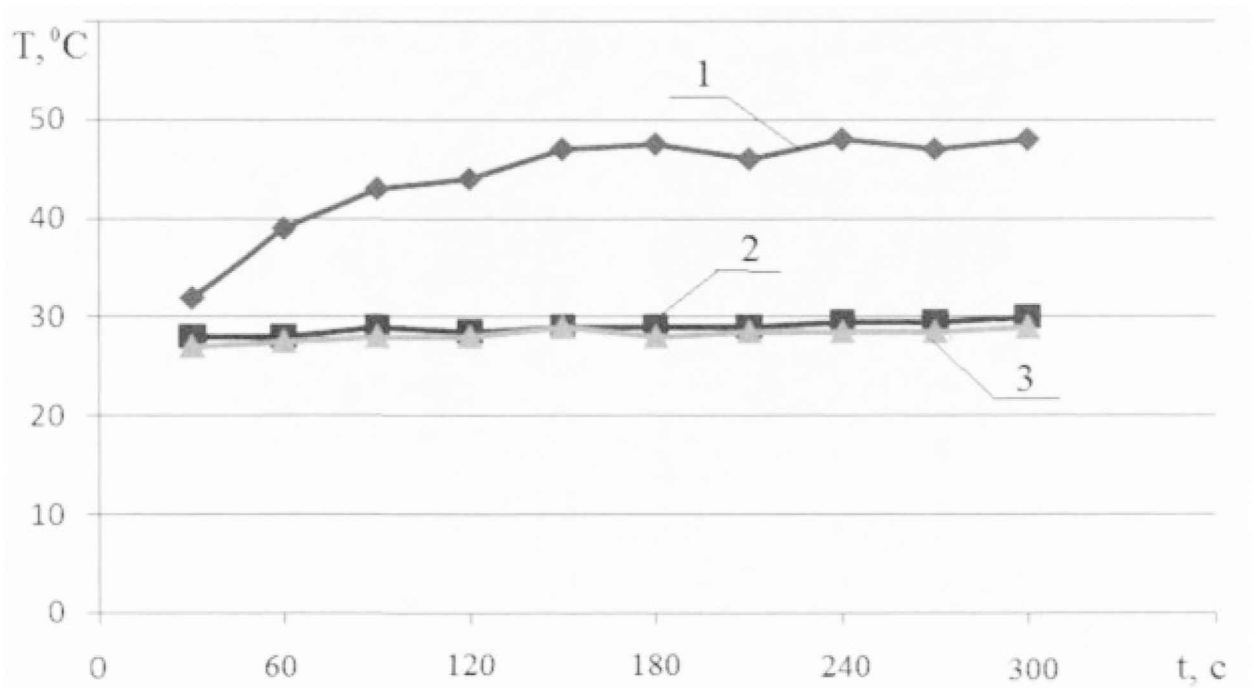


Рисунок 3.9 - Результати виміру температури гільзи з нанесеною міддю М1 у зоні максимального кавітаційного зношування (позначення ті ж)

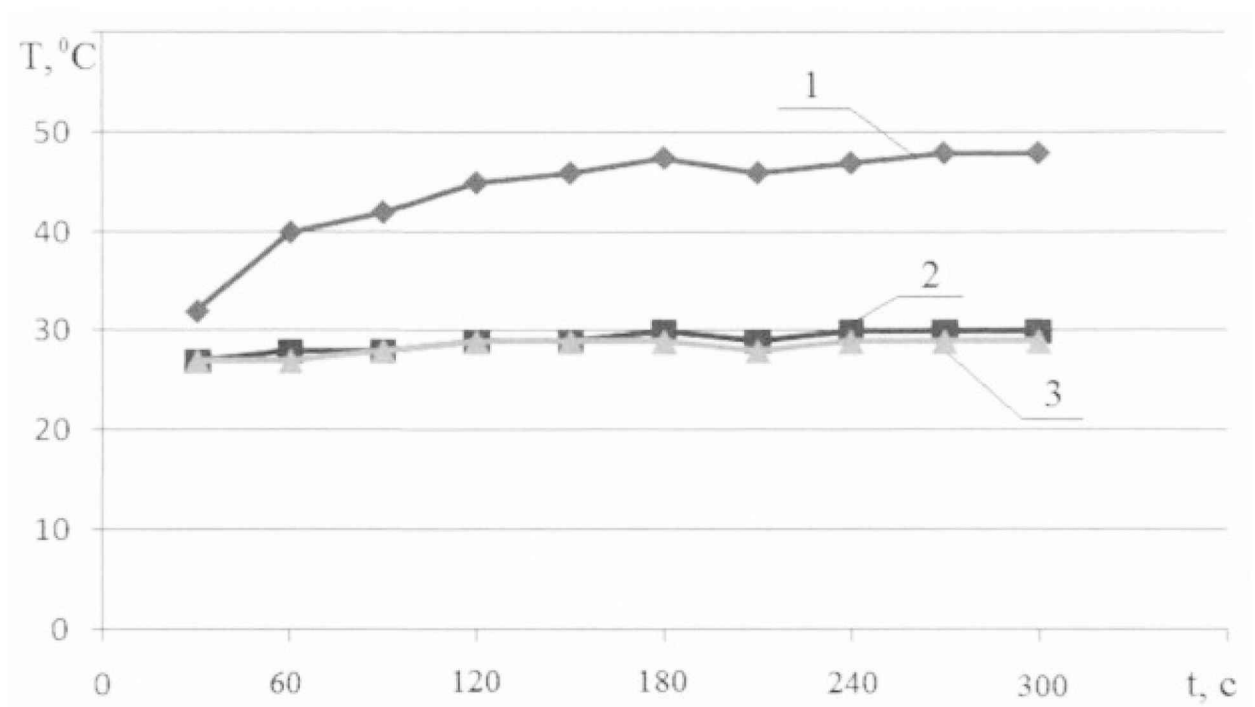


Рисунок 4.13 - Результати виміру температури гільзи з нанесеною бронзою Бр-К-Мц у зоні максимального кавітаційного зношування (позначення ті ж)

Аналіз характеру розподілу температур показав, що найбільш інтенсивне зростання температур зафіксоване у гільз із нанесеним порошком А-80-30, причому не спостерігався процес припинення росту (відсутня зона стабілізації температур у поясах вимірів, що відстоють на 40 мм від верхнього бурту). Імовірно, це пов'язане з тим, що нанесене покриття перешкоджає теплопередачі в зовнішнє середовище. Найкращі показники по теплопередачі в цій зоні продемонстрували гільзи з нанесеним порошком С-01-01.

Для більш докладного аналізу був побудований зведений графік розподілу температур у зоні максимального кавітаційного зношування для всіх чотирьох типів покриття (рис. 3.11).

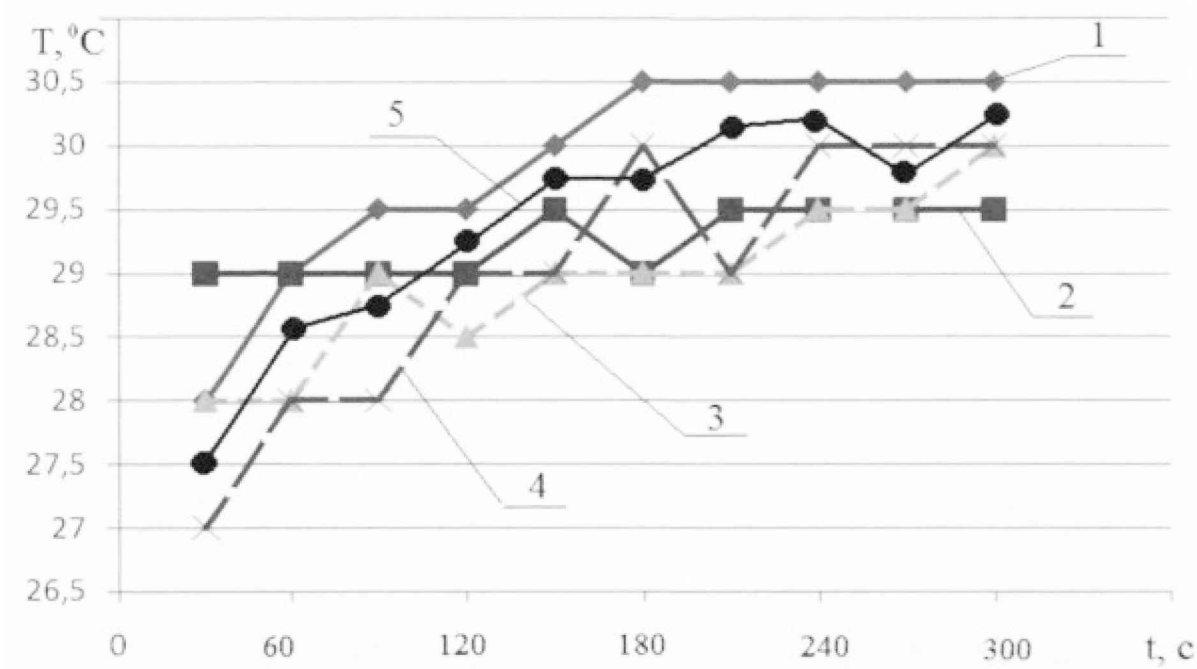


Рисунок 3.11 - Результати виміру температур гільз у зоні максимального кавітаційного зношування (80 мм від верхнього бурту):

- 1 - з нанесеним порошком А-80-13; 2 - з нанесеним порошком С-01-01;
- 3 - з нанесеною міддю М1; 4 - з нанесеною бронзою Бр- К-Мц;
- 5 - вихідна поверхня

На підставі отриманих даних можна констатувати, що найкращі показники по теплопередачі в цій зоні продемонстрували гільзи з нанесеним порошком С-01-01. Вони характеризуються найменшим приростом температури й наявністю

зони її стабілізації. Небагато більш гірші показники (у межах $0,5^{\circ}\text{C}$) продемонстрували гільзи з нанесеною міддю М1 і з нанесеною бронзою Бр-К-Мц.

3.4 Висновки

На підставі досліджень можна стверджувати наступне:

1. Найкращим антикавітаційним покриттям є бронза Бр-К-Мц, нанесена за допомогою електроіскрової обробки, що дозволяє знизити кавітаційне зношування в 9,1...14,9 разів. При цьому нанесення порошку А-80-13 дозволяє знизити кавітаційне зношування в 2,5...4, 5 рази; порошку С-01-01 - в 3,3...6, 7 рази; міді М1 - в 4,0...6,8 рази. При цьому стабілізація процесу зношування зразка з нанесеною бронзою спостерігається вже після 25-30 хвилин, у той час як на інших зразках стабілізація процесу не спостерігалася навіть після 210 хвилин випробувань.

2. Найкращі показники по теплопередачі в зоні максимального кавітаційного зношування продемонстрували гільзи з нанесеним порошком С-01-01. Вони характеризуються найменшим приростом температури ($0,5^{\circ}\text{C}$) і наявністю зони її стабілізації після 210 с. Небагато більш гірші показники (у межах $0,5^{\circ}\text{C}$) продемонстрували гільзи з покриттям М1 і з покриттям Бр-К-Мц.

4 ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

4.1 Нанесення покриттів за допомогою холодного газодинамічного наплавлення

Виробник устаткування для холодного газодинамічного наплавлення рекомендує використовувати дрібнодисперсні порошки С-01-01 (рис. 4.1, а) і А-80-13 (рис. 4.1,б) для наступних цілей (табл.4.1).

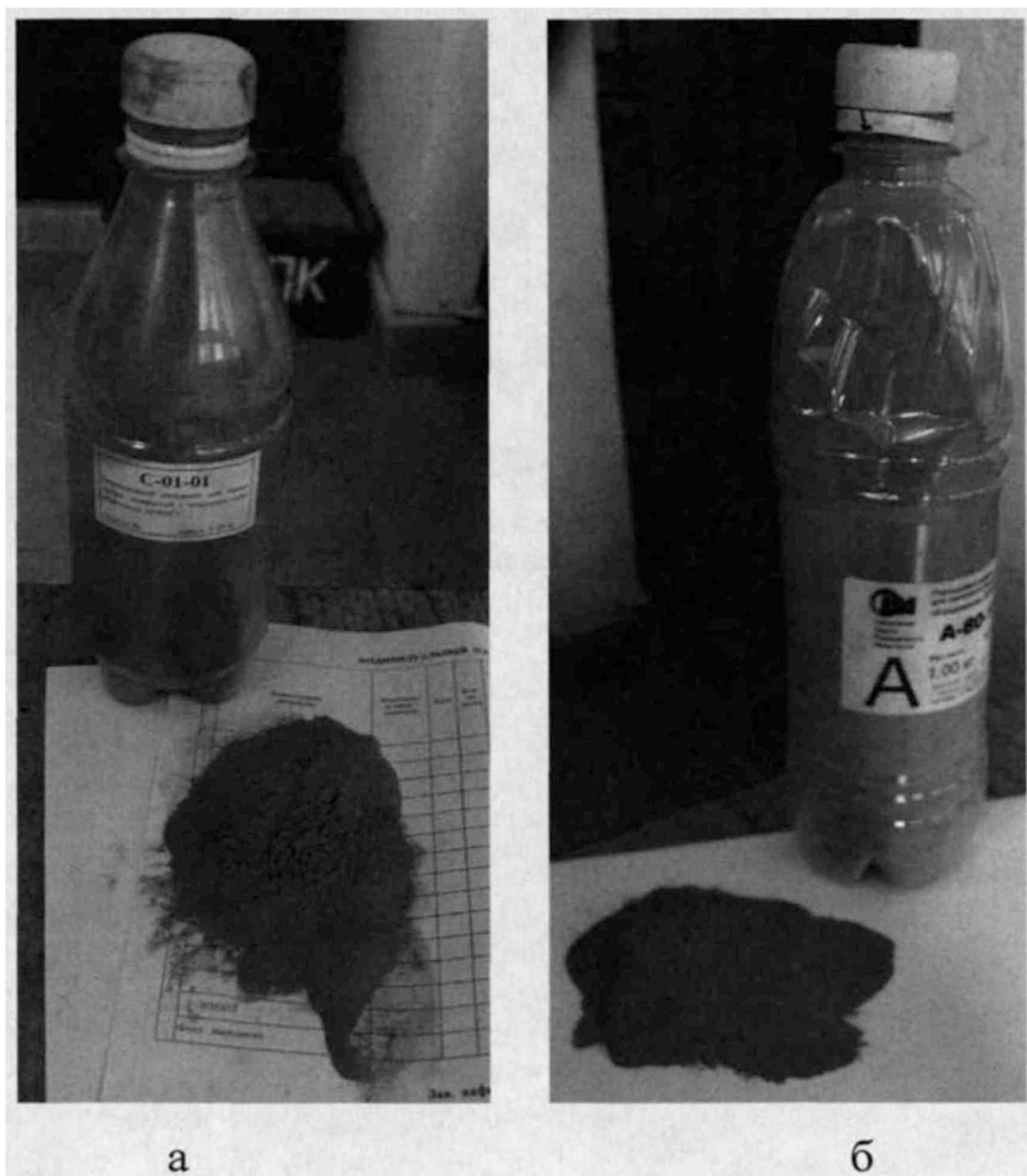


Рисунок 4.1- Мідемісний порошок С-01-01 (а) і порошок, що містить алюміній А-80-13 (б)

Таблиця 4.1- Призначення матеріалів для роботи з обладнанням ДИМЕТ

Марка	Призначення
A-80-13	Відновлення форми металевих деталей. Заповнення каверн, пор, тріщин і інших дефектів у виробках з алюмінію і його сплавів. Відновлення посадкових місць підшипників в алюмінієвих, сталевих і чавунних деталях.
C-01-01	Заповнення каверн, тріщин і інших дефектів у сталевих, чавунних, бронзових і латунних деталях. Ремонт двигунів, що працюють при температурі від 600 °С до 800 °С. Відновлення посадкових місць підшипників у сталевих і чавунних деталях.

Першою операцією технологічного процесу нанесення покриття є піскоструминна обробка поверхні, призначеної для нанесення покриття.

Після чого безпосередньо наносилося покриття мідемісним порошком С-01-01 і порошком, що містять алюміній А-80-13.

Далі зразки знежирювалися й направлялися на випробування на магнітострикційному вібраторі.

Аналогічна послідовність операцій була використана при нанесенні покриттів порошком С-01-01 і порошком, що містять алюміній А-80-13 на гільзи двигуна.

4.2 Нанесення покриттів за допомогою електроіскрової обробки

Частина зразків, зовнішня поверхня яких була піддана піскоструминній обробці, направлялися на операцію ЕІО (рис. 4.2). Зразки зажималися у щипцях, до яких був приєднаний один струмопідвідний елемент пристрою «Електрон-22БМ», а електродом наносився шар покриття (рис. 4.3-4.4). На рис. 4.5 показані зразки після нанесення покриттів М1 і Бр-К-Мц.



Рисунок 4.2 - Послідовність нанесення покриття методом ЕІО

Аналогічна послідовність операцій була використана при нанесенні покриттів М1 і Бр-К-Мц на гільзи двигуна (рис. 4.6-4.7). Гільзи з нанесеним покриттям показані на рис. 4.8.



Рисунок 4.3 - Нанесення на поверхню зразка мідного покриття М1

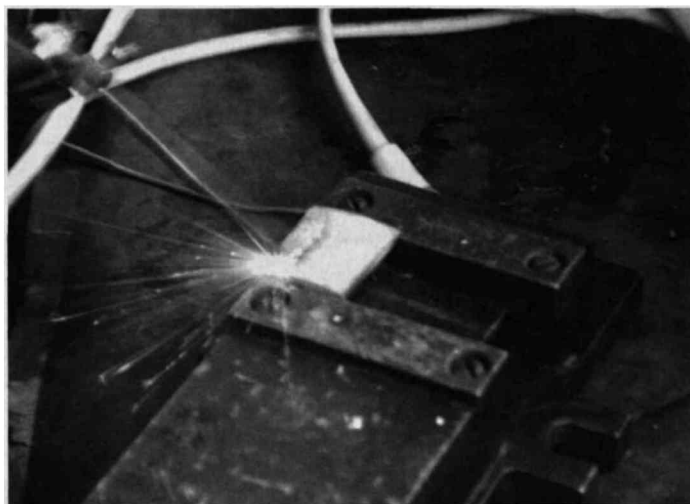


Рисунок 4.4 - Нанесення на поверхню зразка покриття Бр-К-Мц

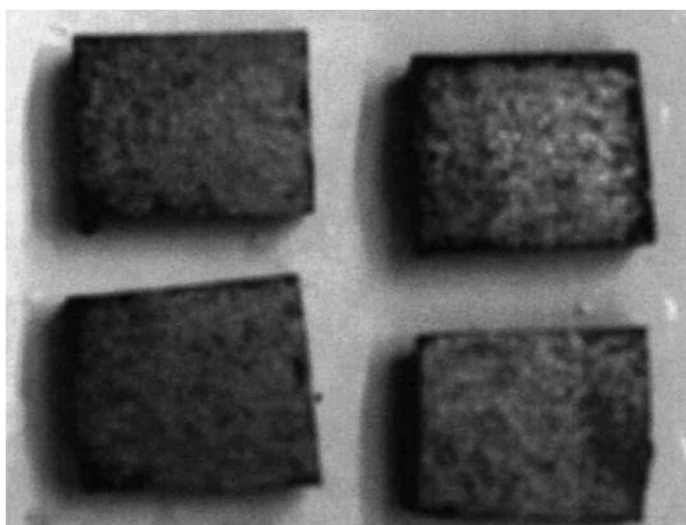


Рисунок 4.5 - Зразки після нанесення покриття
(ліворуч - покриття Бр-К-Мц, праворуч - покриття М1)



Рисунок 4.6 - Процес нанесення на гільзу покриття М1

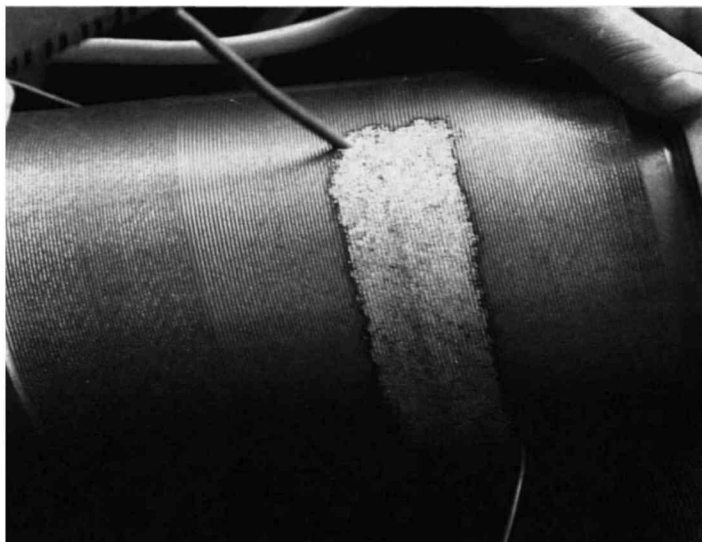


Рисунок 4.7 - Процесе нанесення на гільзу покриття Бр-К-Мц



Рисунок 4.8 - Готові до проведення подальших досліджень гільзи з нанесеними покриттями Бр-К-Мц (ліворуч) і М1 (праворуч)

При цьому була запропонована наступна послідовність операцій технологічного процесу нанесення покриттів методом електроіскрової обробки.

005. Слюсарна.

Витягти гільзи 7406.1002021 (7406.1002021-20) із блоку двигуна.

010. Мийна.

Промити гільзи в розчині мийного засобу «Лабомид-101», концентрацією 10-12 г/л, температура розчину 75-80°C, час очищення 10-15 хв. Знежирити відновлювані поверхні дрантям, змоченої в розчиннику (уайт-спірит або ацетон).

015. Дефектовочна.

Дефектувати гільзи згідно з технологічною картою для виконання

регламентних робіт з технічного обслуговування.

020. Піскоструминна обробка.

Обробити зовнішню поверхню гільз по периметру в зоні 40 мм - 150 мм від верхнього бурту.

025. Електроіскрова обробка.

Нанести шар металопокриття на зовнішню поверхню гільз по периметру в зоні від 40 мм до 150 мм від верхнього бурту електродом з К-М-Ц, Ø 0,5 мм, режим генератора - 5, енергія імпульсу 0,81 Дж із частотою 250 Гц, $n_{эл} = 25$ об/хв, $n_d = 11,2$ об/хв, $S_{эл} = 0,19$ мм/об, $m = 1$, товщина покриття 1 мм.

030. Контрольна.

Зробити візуальний контроль наплавленої поверхні на предмет відсутності пропусків і нерівномірності нанесення покриття.

035. Слюсарна.

Установити гільзи з нанесеною антикавітаційною поверхнею в блок двигуна.

Пропонований технологічний процес нанесення покриттів методом ХГДН.

005. Слюсарна.

Витягти гільзи 7406.1002021 (7406.1002021-20) із блоку двигуна.

010. Мийна.

Промити гільзи в розчині мийного засобу «Лабомид-101», концентрацією 10-12 г/л, температура розчину 75-80°C, час очищення 10-15 хв. Знежирити відновлювані поверхні дрантям, змоченої в розчиннику (уайт-спірит або ацетон).

015. Дефектовочна.

Дефектувати гільзи згідно з технологічною картою для виконання регламентних робіт з технічного обслуговування.

020. Піскоструминна обробка.

Обробити зовнішню поверхню гільз по периметру в зоні 40 мм - 150 мм від верхнього бурту.

025. Холодне газодинамічне напилювання.

Нанести шар металопокриття на зовнішню поверхню гільз по периметру в зоні від 40 мм до 150 мм від верхнього бурту. У якості матеріалу для нанесення використовувати порошок, що містить мідь марки С-01-01. Енергетичний режим обробки 3, витрата матеріалу 1,1 - 1,2 см³/хв. Для роботи встаткування необхідне стиснене повітря тиском 0,6-1,0 МПа, витрата 0,3-0,4 м³/хв. Чистота повітря відповідно ГОСТ 17433-80 повинна відповідати класам 1, 3, 5, а електромережа забезпечувати напругу 220 В, 50 Гц.

030. Контрольна.

Зробити візуальний контроль наплавленої поверхні на предмет відсутності пропусків і нерівномірності нанесення покриття.

035. Слюсарна.

Установити гільзи з нанесеною анитикавітаційною поверхнею в блок двигуна.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу літературних джерел і виконаних досліджень встановлено, що з усіх відмов дизельних двигунів на частку циліндро- поршневої групи доводиться до 40 %, 10-12 % з них обумовлені кавітаційним зношуванням зовнішньої поверхні гільз циліндрів. При цьому відомі в цей час способи відновлення гільз циліндрів не забезпечують достатньої зносостійкості, і гільзи практично не ремонтують по зовнішній поверхні.

2. Дослідження кавітаційної стійкості покриттів з використанням ультразвукової ванни показали, що нанесення електроіскровим способом бронзи Бр-К-Мц і міді М1 на поверхню, що зазнає кавітаційне зношування, дозволило знизити масовтрати в 9,1-14,9 і 4,0-6, 8 рази, а методом холодного газодинамічного напилювання порошоків А-80-30, С-01-01 - в 2,5-4,5 і 3,3- 6,3 рази відповідно.

3. Встановлено, що найкращі показники по теплопередачі має поверхня з нанесеним порошком С-01-01 методом холодного газодинамічного напилювання, що забезпечує найменший приріст температури ($0,5^{\circ}\text{C}$), що й створює зону стабілізації. Трохи гірші, але прийнятні температурні показники мають поверхні з покриттями Бр-К-Мц і М1, нанесеними методом електроіскрової обробки.

4. Запропоновані технологічні процеси відновлення гільз циліндрів шляхом нанесення на їхні зовнішні поверхні металопокриттів методом електроіскрової обробки (бронза Бр-К-Мц) і методом холодного газодинамічного напилювання (медесодержащий порошок С-01-01), які забезпечують зниження кавітаційного зношування.