

УДК 532.528:621.43

ОБГРУНТУВАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ЗНОСУ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Клик А. В., магістрант,

Журавель Д. П., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

Постановка проблеми. При експлуатації гідромашин, двигунів внутрішнього згорання та інших енергосистем, постає питання швидкого зношування та руйнування поверхонь деталей у зоні дії кавітації.

Основні матеріали дослідження. Явище кавітації виникає в результаті місцевого зниження тиску в рідині, яке може відбуватися або при збільшенні її швидкості (гідродинамічна кавітація), або при проходженні акустичної хвилі великої інтенсивності під час напівперіоду розрідження (акустична кавітація), хоча існують і інші причини виникнення ефекту. Переміщаючись з потоком в область з більш високим тиском або під час напівперіоду стискання, кавітаційна бульбашка закривається, випромінюючи при цьому ударну хвилю (гідравлічні мікроудари великої частоти і високого рівня ударних тисків) [1-5].

Увага до цього явища не випадкова саме з боку конструкторів і експлуатаційників двигунів (зокрема, тепловозних). Кавітація порушує нормальний режим роботи гідросистеми, а в окремих випадках може викликати руйнування її агрегатів. Такому впливу піддаються насоси, золотники, клапани та інші гідроагрегати, причому це проявляється найчастіше в дуже короткий час [2,4].

Схематично механізм виникнення кавітації і її руйнівної дії зводиться до наступного. При зниженні тиску рідини в будь-якій точці потоку до деякої величини рідина закипає (відбувається її вибух), бульбашки газу і пари які виділилися приймаються потоком і переносяться в область більш високого тиску, в якій парові бульбашки конденсуються, а газові стискаються. Так як процес конденсації парового і стиснення газових бульбашок відбувається миттєво, частинки рідини переміщаються до центру з великою швидкістю, в результаті кінетична енергія частинок які зіштовхуються викликає в момент змикання бульбашок місцеві гідравлічні мікроудари, що супроводжуються високими коливаннями температури і тиску в центрах бульбашок (1000-1500 °С; 1500-2000 кг/см²) [5,6].

В цьому випадку, якщо процеси протікають поблизу стінок обмежуючих каналів, останні будуть піддаватися неперервним гідравлічним ударам, які викликають місцеві руйнування стінок. Руйнуванню сприяють місцеві високі температури, що розвиваються через скачки та

нерівномірність високого рівня тиску. Ударні дії частинок рідини доповнюються хімічним впливом на метал кисню повітря, що виділяється з рідини, а також реакціями електролітичного характеру (рис. 1).



Рис. 1. Моделювання явища кавітації

Під дією високих температур, у присутності кисню повітря, відбувається активне окислення (корозія) контактуючих поверхонь. Виникаючі при цьому окислювальні процеси посилюються тим, що розчинене у рідині повітря містить майже в півтора рази більше кисню, ніж атмосферне повітря. Крім того, інтенсивність окислювальних процесів підвищується в результаті руйнування під дією гідравлічних мікроударів окисної плівки, яка в звичайних умовах уповільнює окислення металевих поверхонь деталей.

Кавітація настає тим раніше, чим більше рідина забруднена твердими частинками. Це обумовлено тим, що на поверхні частинок адсорбується тонкий шар повітря, який при потраплянні в зону зниженого тиску сприяє виникненню кавітації.

Руйнуванню піддаються при розвитку кавітації деталі різних гідроагрегатів, зокрема - гільзи. Незважаючи на різноманіття моделей, більшість гільз об'єднує одна загальна якість. Всі вони є «вологими» (типу WN), тобто в ході роботи змочуються охолоджувальною рідиною. Завдяки цьому конструктивному рішенню здійснюються ефективно відведення теплової енергії, що виникає при згорянні палива, і її наступна передача в теплообмінник.

Уражена ділянка має характерні особливості: отвори часто розташовуються трохи вище і трохи нижче точки повернення поршня. Ці типові точки або місця корозії і називаються кавітаційними пошкодженнями.

У двигуні внутрішнього згорання при русі поршня відбувається вібрація, коливання стінок циліндрів з високою частотою і великою амплітудою. Внаслідок цього на поверхні розділу середовищ спостерігаються утворення і схлопування бульбашок.

Кавітаційні пошкодження або звичайна корозія? Кавітаційні пошкодження мають дві характерні ознаки. По-перше, отвори з'являються

тільки на ділянках тиску або протитиску гільзи. По-друге, на відміну від звичайної корозії отвори збільшуються всередину. Розвиток процесу (ерозія) призводить до того, що відбувається наскрізне руйнування стінки циліндра, аж до витікання охолоджуючої рідини через що з'являється отвір. Крім того, якщо кавітація почала руйнувати поверхню циліндра хоча б в одному місці, то це створює передумови для нових кавітаційних пошкоджень і розвитку корозії.

Від ефекту кавітації страждають не тільки гільзи двигуна, але і багато інших його механізмів і вузлів.

Кавітація, або правильніше, кавітаційна ерозія, не викликає аварії підшипника, але поверхня його набуває плямистий вигляд, а уламки шарів, що утворилися в ході кавітаційної ерозії, потрапляють між шийкою вала і покривним шаром і втискаються в нього. За даними дослідників процес кавітаційної ерозії підшипників може відбуватися в результаті: флуктуації (коливання) тисків в потоці масла через особливості поверхні підшипника і шийки валу - таких, як канавки і свердління; інерційних ефектів всередині свердління шатуна, які використовуються при подачі масла до шатунів пальцю для охолодження поршня; вібрації шийки вала в межах зазору підшипника.

Зона скупчення кавітаційних пошкоджень в основному зосереджена на верхньому шатунному підшипнику через пружною деформації верхнього бугеля при різних тактах двигуна, що викликає утворення пустот і їх схлопування в масляній плівці. Крім того, не останнє місце в утворенні пустот займає і свердління шийки вала для подачі масла до підшипника.

Хоча кавітаційна ерозія спостерігалася і на мідно-свинцевих підшипниках, більш часто вона проявляється на алюмінієвих через їх більш низької втомної міцності. Також до кавітаційного зносу схильні плунжера розподільного золотника (клапана) стежучої гідросистеми, що працює в умовах значного дроселювання рідини (рис. 2).

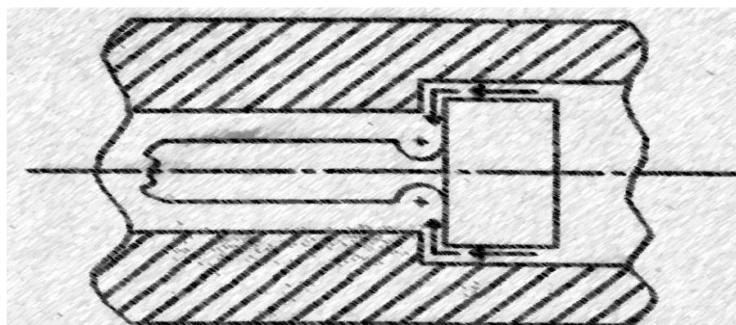


Рис. 2. Схематичне зображення кавітаційного зношення плунжера розподільчого клапана

Кавітація рідини в насосах настає в той момент, коли рідина при усмоктуванні відривається з тих чи інших причин від робочого елемента насоса-поршня, лопатей, зубів. Можливість відриву залежить від в'язкості рідини і величини тиску на вході в насос, а також від числа оборотів і конструктивних особливостей агрегату.

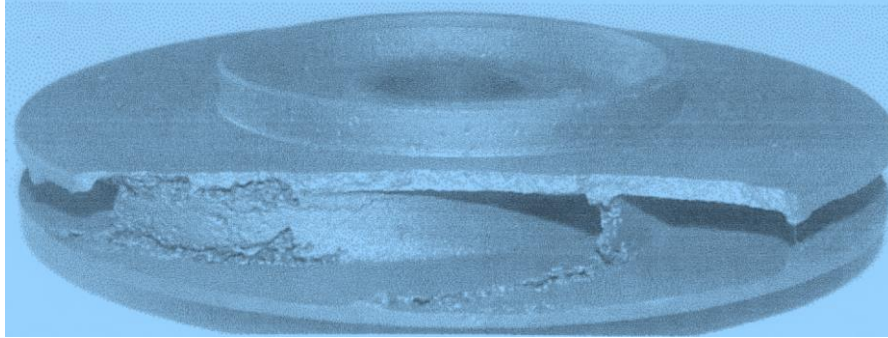


Рис. 3. Пошкодження від кавітації робочого колеса гідронасосу

У разі зубчастого і пластинчастого (лопастного) насосів до цих втрат додаються і ті, що обумовлені діючою на рідину відцентровою силою.

При виникненні кавітації в трубопроводах опір їх значно зростає, а пропускна здатність відповідно зменшується. При невеликих перетинах трубопроводів утворюються газові пробки, і рух рідинно-газових фаз відбувається чергуються імпульсами.

Частою причиною кавітаційних пошкоджень буває склад охолоджувальної рідини. У багатьох місцях планети двигуни експлуатуються або взагалі без антифризу в охолоджуючій рідині, або з його незначною кількістю. Однак антифриз служить не тільки для захисту від морозів. Він також запобігає корозії в радіаторі двигуна і змащує насос системи охолодження. Правильно підібраний антифриз корисно впливає на фізичні і хімічні характеристики охолоджуючої рідини. Він знижує її температуру замерзання і підвищує температуру кипіння. Таким чином зменшується схильність рідини до утворення бульбашок, знижується і ризик кавітаційних пошкоджень.

При нормальних експлуатаційних умовах в системі охолодження присутній надлишковий тиск. Відповідно навіть нещільно закрита кришка радіатора перешкоджає утворенню надлишкового тиску, а це значить, що вона може стати причиною кавітаційних ушкоджень гільз циліндрів. Крім того, занадто сильно понизити температуру двигуна і тим самим перешкоджати створенню надлишкового тиску можуть дефектні термостати і муфти вентиляторів.

Кавітаційні пошкодження відзначаються насамперед в двигунах, що працюють в нижньому температурному діапазоні (50-70 °С). При більш високих температурах (90-100 °С) утворенню бульбашок пари, перешкоджає занадто високий тиск охолоджувальної рідини [7].

Низької якості гільзи циліндрів, які через занадто великі виробничі допуски не є можливим встановити правильно, викликають посилену детонацію двигуна. При таких надлишкових коливаннях нерідко виникають кавітаційні пошкодження. Привести до подібних дефектів можуть і низькоякісні матеріали.

Висновки. Щоб уникнути небезпеки виникнення кавітації в гідросистемах рекомендується дотримуватися як мінімум наступних умов: тиск в потоці рідини має бути більше тиску насичених парів; режим течії рідини по можливості слід залишати ламінарним; температура робочої рідини не повинна перевищувати значення, при якому може початися утворення газових бульбашок; необхідно домагатися максимально можливого обмеження попадання повітря в робочу рідину; зменшувати висоту всмоктування за рахунок підвищення рівня води в приймальному колодязі.

Найбільш ефективним способом запобігання виникненню кавітації в гідросистемах вважається підвищення робочого тиску в проблемних зонах. Зокрема, радикальним способом боротьби з кавітацією в насосах є застосування насосів підкачування. Для зменшення руйнівного впливу кавітації використовують протиерозійні матеріали, спеціальні покриття з бронзи, хрому та ін. Найбільш стійкими до гідравлічної ерозії показали себе титан, бронза і нержавіюча сталь, а найменш стійкими - чавун і вуглецева сталь. Повністю усунути руйнівну дію кавітації шляхом застосування стійких проти корозії матеріалів не представляється можливим.

Список використаних джерел

1. Сухенко Ю. Г., Паламарчук І. П., Жеплінська М. М., Муштрук М. М., Журавель Д. П. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний посібник. К. ЦП «КомпрІнт», 2019. 370 с.
2. Журавель Д. П. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 280 с.
3. Дідур В. А., Журавель Д. П. Технічна механіка рідини і газу: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 468 с.
4. Журавель Д. П. Триботехніка. Посібник до лабораторно-практичних робіт. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 136 с.
5. Дідур В. А., Савченко О. Д., Журавель Д. П., Мовчан С. І. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. К.: Аграрна освіта, 2008. 577 с.
6. Дідур В. А., Журавель Д. П., Палішкін М. А. та ін. Гідравліка. Підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.
7. Журавель Д.П. Триботехніка. Методичні вказівки до самостійної роботи. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 116 с.