

Кавитационный износ деталей гидроагрегатов



Геннадий МОРОЗОВ

Gennady P. MOROZOV

Морозов Геннадий Петрович — старший преподаватель Сибирского государственного университета путей сообщения (г. Новосибирск).

Кавитация как явление, свойственное деталям и узлам гидроагрегатов двигателей внутреннего сгорания, тепловозным системам, исследуется в статье с разных точек зрения. В авторском анализе дается общая картина причин кавитационного износа, показаны способы борьбы с его последствиями, демонстрируются примеры из реальной практики, позволяющие оценить негативное влияние наблюдаемых дефектов и угроз, выбрать оптимальные технические условия при эксплуатации ДВС.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, тепловозы, гидроагрегаты, кавитация, моделирование, профилактика, условия эксплуатации.

Для начала уточним: кавитация (от лат. *cavitas* — пустота) — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром. Явление возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), хотя существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк захлопывается, излучая при этом ударную волну (гидравлические микроудары большой частоты и высокого уровня ударных давлений).

ОСОБЕННОСТИ КАВИТАЦИИ

Внимание к этому явлению не случайно именно со стороны конструкторов и эксплуатационщиков двигателей (в частности, тепловозных). Кавитация нарушает нормальный режим работы гидросистемы, а в отдельных случаях может вызвать разрушение ее агрегатов. Такому воздействию



Рис. 1.
Моделирование
кавитации.

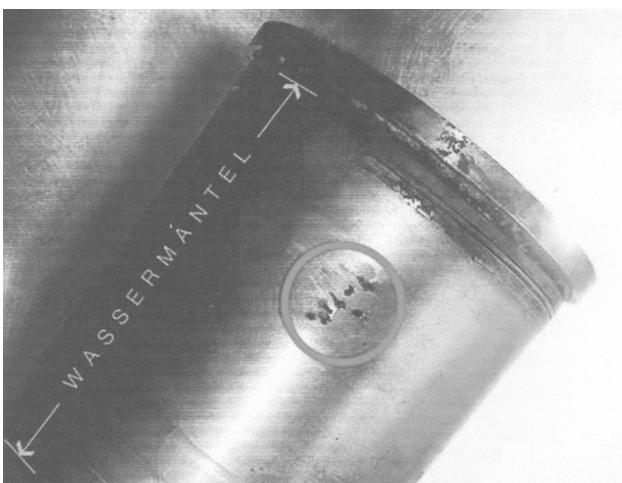


Рис. 2.
Кавитационный
износ гильзы типа
WN.

подвергаются насосы, золотники, клапаны и прочие гидроагрегаты, причем это проявляется зачастую в очень короткое время

Схематически механизм возникновения кавитации и ее разрушительного действия сводится к следующему. При понижении давления жидкости в какой-либо точке потока до некоторой величины жидкость вскипает (происходит ее взрыв), выделившиеся же пузырьки газа и пара увлекаются потоком и переносятся в область более высокого давления, в которой паровые пузырьки конденсируются, а газовые сжимаются. Так как процесс конденсации парового и сжатия газового пузырьков происходит мгновенно, частицы жидкости перемещаются к центру с большой скоростью, в результате кинетическая энергия соударяющихся частиц вызывает в момент смыкания пузырьков местные

гидравлические микроудары, сопровождающиеся высокими забросами давления и температуры в центрах пузырьков (1000–1500 °С; 1500–2000 кг/см).

В этом случае, если процессы протекают вблизи стенок ограничивающих каналов, последние будут подвергаться непрерывным гидравлическим ударам, которые вызывают местные разрушения стенок. Разрушению способствуют местные высокие температуры, развивающиеся из-за скачкообразности процесса и высокого уровня забросов давления. Ударные действия частиц жидкости дополняются химическим воздействием на металл кислорода воздуха, выделяющегося из жидкости, а также реакциями электролитического характера (рис. 1).

Под действием высоких температур в присутствии кислорода воздуха происхо-



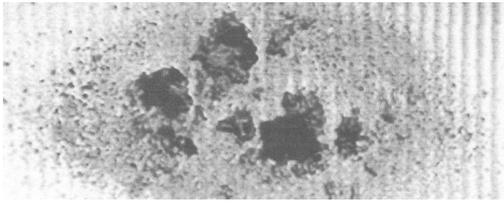


Рис. 3. Скопление большого числа небольших отверстий в районе водяной рубашки указывает на кавитационные повреждения.

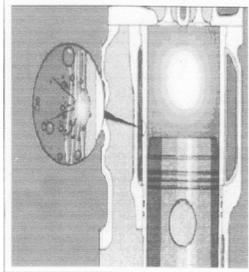


Рис. 4. Схематическое образование кавитационной эрозии.



Рис. 5. Кавитационная эрозия стенки цилиндра дизельного двигателя тепловоза, в системе охлаждения которого использовали воду с трехкомпонентной нитрито-фосфатной присадкой, не защищающей от кавитации.



Рис. 6. Поршневая гильза.

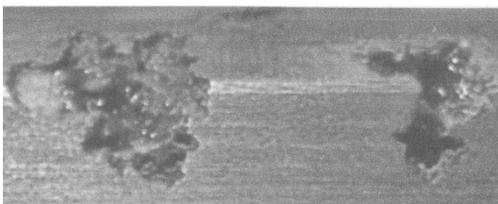


Рис. 7. Кариес гильзы цилиндра.

дит активное окисление (коррозия) контактирующих поверхностей. Возникающие при этом окислительные процессы усугубляются тем, что растворенный в жидкости воздух содержит почти в полтора раза больше кислорода, чем атмосферный воздух. Кроме того, интенсивность окислительных процессов повышается в результате разрушения под действием гидравлических микроударов окислительной пленки, которая в обычных условиях замедляет окисление металлических поверхностей деталей.

Кавитация наступает тем раньше, чем больше жидкость загрязнена твердыми частицами. Это обусловлено тем, что на поверхности частиц адсорбируется тонкий слой воздуха, который при попадании в зону пониженного давления способствует возникновению кавитации.

ДЕМОНСТРАЦИЯ ПРИМЕРОВ

Разрушению подвергаются при развитии кавитации детали различных гидроагрегатов, в частности — гильзы. Несмотря на многообразие моделей, большинство гильз объединяет одно общее качество. Все они являются «влажными» (типа WN), то есть в ходе работы смачиваются охлаждающей жидкостью. Благодаря этому конструктивному решению осуществляются эффективный отвод тепловой энергии, возникающей при сгорании топлива, и ее дальнейшая передача в теплообменник (рис. 2).

Пораженный участок имеет характерные особенности: отверстия зачастую располагаются чуть выше и чуть ниже точки возврата поршня (рис. 3). Эти типичные точки или места коррозии и называются кавитационными повреждениями.

В двигателе внутреннего сгорания при движении поршня происходит вибрация, колебания стенок цилиндров с высокой частотой и большой амплитудой. Вследствие этого на поверхности раздела сред наблюдаются образование и схлопывание пузырьков (рис. 4).

Кавитационные повреждения или обычная коррозия? Кавитационные повреждения имеют два характерных признака. Во-первых, отверстия появляются только на участках давления или противодавления гильзы. Во-вторых, в отличие от об-

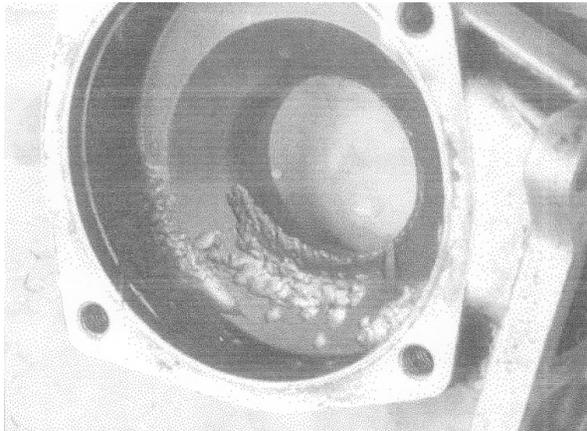


Рис. 8. Приемная улитка крыльчатки итальянского дизеля.

ычной коррозии отверстия увеличиваются вовнутрь. Развитие процесса (эрозия) приводит к тому, что происходит сквозное разрушение стенки цилиндра, вплоть до вытекания охлаждающей жидкости через появившееся отверстие. Кроме того, если кавитация начала разрушать поверхность цилиндра хотя бы в одном месте, то это создает предпосылки для новых кавитационных повреждений и развития коррозии.

От эффекта кавитации страдают не только гильзы двигателя, но и многие другие его механизмы и узлы.

Кавитация, или правильнее, кавитационная эрозия, не вызывает аварии подшипника, но поверхность его приобретает пятнистый вид, а обломки слоев, образовавшиеся в ходе кавитационной эрозии, попадают между шейкой вала и покровным слоем и впечатываются в него.

По данным исследователей процесса кавитационной эрозии подшипников она может происходить в результате:

- флуктуации (колебания) давлений в потоке масла из-за особенностей поверхности подшипника и шейки вала — таких, как канавки и сверления;
- инерционных эффектов внутри сверлений шатуна, используемых при подаче масла к шатунному пальцу для охлаждения поршня;
- вибрации шейки вала в пределах зазора подшипника.

Зона скопления кавитационных повреждений в основном сосредоточена на верхнем шатунном подшипнике из-за упругой деформации верхнего бугеля при различных тактах двигателя, вызывающей обра-

зование пустот и их схлопывание в масляной пленке. Кроме того, не последнее место в образовании пустот занимает и сверление шейки вала для подачи масла к подшипнику.

Хотя кавитационная эрозия наблюдалась и на медно-свинцовых подшипниках, более часто она проявляется на алюминиевых по причине их более низкой усталостной прочности.

Также кавитационному износу подвержены плунжера распределительного золотника (клапана) следящей гидросистемы, работающей в условиях значительного дросселирования жидкости (рис. 10).

Кавитация жидкости в насосах наступает в тот момент, когда жидкость при всасывании отрывается по тем или иным причинам от рабочего элемента насоса-поршня, лопасти, зубьев или прочих вытеснителей. Возможность отрыва зависит от вязкости жидкости и величины давления на входе в насос, а также от числа оборотов и конструктивных особенностей агрегата. В част-

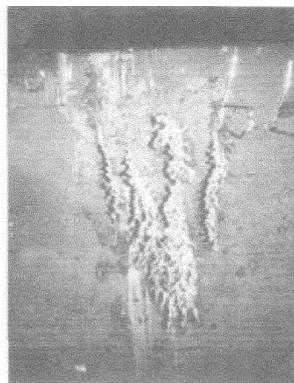


Рис. 9. Прогрессирующая кавитационная эрозия алюминиевого шатунного подшипника вблизи поверхности разъема.



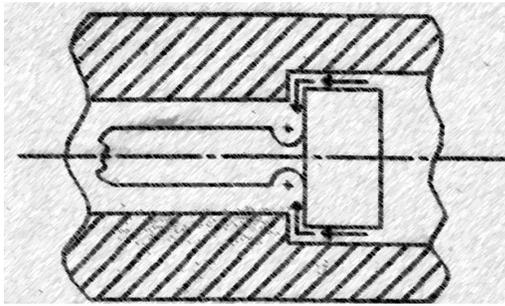


Рис. 10. Схематическое изображение кавитационного износа плунжера распределительного клапана.

ности, кавитация возникает, если давление на входе во всасываемую камеру насоса окажется недостаточным для обеспечения неразрывности потока жидкости в процессе изменения скорости ее движения.

Предельно допустимым, с этой точки зрения, числом оборотов насоса является такое число, при котором абсолютное давление жидкости на входе в насос будет способно преодолеть без разрыва потока потери напора во всасывающей камере, обусловленные ее сопротивлением и силами инерции.

В случае шестеренчатого и пластинчатого (лопастного) насосов к этим потерям добавляются и те, что обусловлены действующей на жидкость центробежной силой вращающегося вместе с ротором насоса.

При возникновении кавитации в трубопроводах сопротивление их значительно возрастает, а пропускная способность соответственно уменьшается. При небольших сечениях трубопроводов образуются газовые пробки, и движение жидкостно-газовых фаз происходит чередующимися импульсами.

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КАВИТАЦИЕЙ

Во избежание опасности возникновения кавитации в гидросистемах рекомендуется соблюдать как минимум следующие условия:

- давление в потоке жидкости должно быть больше давления насыщенных паров;
- режим течения жидкости по возможности следует оставлять ламинарным;
- температура рабочей жидкости не должна превышать значение, при котором может начаться образование газовых пузырьков;

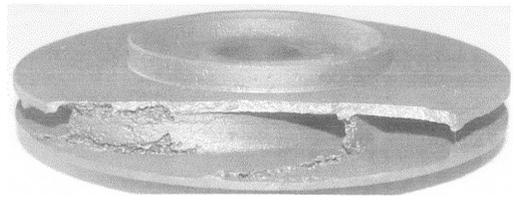


Рис. 11. Повреждения, наносимые эффектом кавитации (часть насоса).

- надо добиваться максимально возможного ограничения попадания воздуха в рабочую жидкость;

- уменьшать высоту всасывания за счет повышения уровня воды в приемном колодце.

Наиболее эффективным способом предотвращения возникновения кавитации в гидросистемах считается повышение рабочего давления в проблемных зонах. В частности, радикальным способом борьбы с кавитацией в насосах является применение насосов подкачки.

Для уменьшения разрушающего эффекта кавитации используют противоэрозионные материалы, специальные покрытия из бронзы, хрома и др.

Самыми стойкими к гидравлической эрозии показали себя титан, бронза и нержавеющая сталь, а наименее стойкими — чугун и углеродистая сталь.

Полностью устранить разрушительное действие кавитации путем применения стойких против коррозии материалов не представляется возможным.

ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ

Частой причиной кавитационных повреждений бывает состав охлаждающей жидкости. Во многих уголках планеты двигатели эксплуатируются или вообще без антифриза в охлаждающей жидкости, или с его незначительным количеством.

Однако антифриз служит не только для защиты от морозов. Он также предотвращает коррозию в радиаторе двигателя и смазывает насос системы охлаждения. Правильно подобранный антифриз оказывает благотворное влияние на физические и химические характеристики

охлаждающей жидкости. Он понижает ее температуру замерзания и повышает температуру кипения. Таким образом уменьшается склонность жидкости к образованию пузырьков, а значит, снижается и риск кавитационных повреждений.

РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

При нормальных эксплуатационных условиях в системе охлаждения присутствует избыточное давление, подавляющее образование воздушных пузырьков. Соответственно даже неплотно закрытая крышка радиатора препятствует образованию избыточного давления, а это значит, что она может стать причиной кавитационных повреждений гильзы цилиндров. Кроме того, слишком сильно снизить температуру двигателя и тем самым препятствовать созданию избыточного давления могут дефектные термостаты и муфты вентиляторов.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Кавитационные повреждения отмечаются прежде всего в двигателях, работаю-

щих в нижнем температурном диапазоне (50–70°C). При более высоких температурах (90–100°C) образованию пузырьков пара препятствует слишком высокое давление охлаждающей жидкости.

НЕКАЧЕСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ

Низкого качества гильзы цилиндров, которые по причине слишком больших производственных допусков не представляется возможным установить правильно, вызывают усиленную детонацию двигателя. При таких избыточных колебаниях нередко и возникают кавитационные повреждения. Привести к подобным дефектам могут и низкокачественные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. Машиностроитель: Справочное пособие. — М., 1971. — 671 с.
2. Богданов С. Н., Буренков М. М., Иванов И. Е. Автомобильные двигатели. — М.: Машиностроение, 1987. — 368 с.
3. Стуканов В. А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. — М.: Форум-Инфра-М, 2004. — 368 с.
4. Хачиян А. С., Морозов К. А., Луканин В. Н. и др. Двигатели внутреннего сгорания. — М.: Высшая школа, 1985. — 311 с. ●

CAVITATION WEAR OF HYDRAULIC UNIT PARTS

Morozov, Gennady P. – senior lecturer of Siberian State University of Railway Engineering, Novosibirsk, Russia.

Cavitation as a phenomenon is peculiar to parts and nodes of hydraulic units of the internal combustion engines, to diesel locomotives systems. The article studies the cavitation phenomenon from different points of view. The author analyzes common reasons of cavitation wear, techniques to avoid its consequences. The author uses the practical examples which allow assessing negative impact of

defects and threats, choosing optimum technical conditions of operation of internal combustion engines. The article refers also to the brief analysis of most common causes of increased cavitation wear, such as incorrect choice of coolant liquid, depressurization of the cooling system, engine operation under low temperature, low quality of parts, such as cylinder sleeves.

Key words: internal combustion engine, diesel locomotives, hydraulic units cavitation, simulation, preventive measures, operation conditions.

REFERENCES

1. Bashta T. M. Mechanical hydraulics [*Mashinostroitel'naya gidravlika*]. Moscow, Mashinostroitel, 1971, 671 p.
2. Bogdanov S. N., Burenkov M. M., Ivanov I. E. Automobile engines [*Avtomobilnye dvigateli*]. Moscow, Mashinostroenie, 1987, 368 p.
3. Stukanov V. A. Theory of automobile engines and motorcars [*Osnovy teorii avtomobilnykh dvigateley i avtomobilya*]. Moscow, Forum-Infra-M, 2004, 368 p.
4. Hachiyani A. S., Morozov K. A., Lukanin V. N. et al. Internal combustion engines [*Dvigateli vnutrennego sgoraniya*]. Moscow, Vysshaya Shkola [*Higher school*] publ., 1985, 311 p.

Координаты автора (contact information): Морозов Г. П. (Morozov G. P.) – ter@stu.ru.

Статья поступила в редакцию / received 08.11.2012
Принята к публикации / accepted 17.04.2013

