



The conditions of work and main requirements to material of the cylinders block liners are given.

А. Н. КРУТИЛИН, М. И. КУРБАТОВ, М. И. КУРБАТОВА, БНТУ

УДК 621.74

УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛУ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Технический прогресс в области двигателестроения, направленный на увеличение удельной мощности современных двигателей, связан с ростом давлений и тепловой напряженности деталей цилиндропоршневой группы, что неизбежно приводит к ухудшению условий трения и интенсификации износа гильз цилиндров и поршневых колец.

Несмотря на постоянное совершенствование конструкции двигателей, технологии их производства и ремонта, вопросы повышения износостойкости деталей цилиндропоршневой группы продолжают привлекать исследователей и практиков. До сих пор в технической литературе не существует общепринятого критерия износостойкости для различных процессов изнашивания. Нет единой точки зрения и на особенности износа пары трения гильза цилиндров – поршневое кольцо. При трении протекают одновременно различные процессы разрушения. Различают хрупкий, вязкий, полидеформационный или усталостный характер разрушения. Первые два вида разрушения имеют место при однократном контактировании микровыступов, остальные – после определенного числа циклов. Если напряжения в очаге касания выше предела текучести, но ниже предела прочности, то разрушение носит полидеформационный характер, а при напряжениях ниже предела текучести – усталостный. Уменьшение величины износа возможно при снижении уровня хрупкого и вязкого разрушения.

Достижения в области физики твердого тела, физико-химической механики, металловедения и технологии производства позволяют с новых позиций объяснить механизмы повреждений трущихся поверхностей и выбрать эффективные способы борьбы с износом.

Сопряжение гильза цилиндра – поршневое кольцо работает при нестационарных тепловых, нагрузочных, скоростных режимах, масляном

голодании, воздействии абразивной и газовых сред, возникновении микросхватывания с различной интенсивностью разрушения. Этому сопутствуют необратимые процессы усталости и охрупчивания, постоянно происходящие в тонких поверхностных слоях. Условия трения по высоте цилиндра различны. Наиболее неблагоприятные условия трения в цилиндре двигателя внутреннего сгорания возникают при реверсировании в зонах минимальных скоростей движения поршня и особенно у камеры сгорания, где температура поверхностей трения цилиндра и колец достигает 350°C, максимальное давление – 6–16 МПа.

Как показывают исследования, около мертвых точек всегда наблюдается почти полное разрушение масляной пленки. В области повышенных скоростей движения поршня несущая способность пленки возрастает и может достигнуть величины, присущей режиму трения в случае полужидкостной смазки.

В процессе эксплуатации двигателей на трущихся поверхностях протекают сложные физико-химические процессы, приводящие к износу и разрушению их поверхностного слоя, т.е. к изменению размеров и геометрии сопряженных деталей. Характер протекания этих процессов, в свою очередь, определяет мощностные и экономические показатели работы двигателя.

Наибольшее влияние из внешних факторов на интенсивное протекание изнашивания за счет микросхватывания оказывают абразивное воздействие твердых частиц и температура в зоне фрикционного контакта. В зависимости от свойств материалов и условий трения этот вид изнашивания может протекать на атомарном, ионном, субмикро- и макроуровнях с различной интенсивностью, достигая в экстремальном случае катастрофической формы – задира.

В зависимости от режимов трения в цилиндре двигателя, свойств материалов втулки, поршня и поршневых колец можно наблюдать различную

интенсивность массопереноса с одной поверхности трения на другую и разные размеры разрушения сопряженных поверхностей, реализуемые в макро-, микро- и субмикрообъемах.

Абразивное изнашивание деталей цилиндропоршневой группы вызвано в основном частицами минерального происхождения, проникающими вместе с воздухом в цилиндр. Максимальный износ находится в верхней части гильзы, сильно изнашиваются верхнее компрессионное кольцо и канавка под него в поршне. Абразивное изнашивание протекает в процессе микрорезания и царапания поверхности детали твердыми абразивными частицами.

Коррозионно-механический износ гильз цилиндров состоит во взаимодействии материала поверхностей трения с газообразными и жидкими продуктами сгорания топлива, окисления масла и воды. Условия для его развития создаются при холодных запусках двигателя. Продукты сгорания топлива и смазки, взаимодействуя с конденсатом, образуют разбавленные растворы органических и неорганических кислот. В результате на внутренней поверхности гильз цилиндров развиваются процессы электрохимической коррозии.

Коррозионно-механический износ состоит обычно из двух фаз: фазы воздействия агрессивного вещества на металл и образования оксидной пленки, и фазы удаления этой пленки с поверхности трения. Считается, что для гильз цилиндров двигателей основное значение имеет электрохимическая коррозия, являющаяся результатом взаимодействия с металлом слабых кислот, растворенных в воде и сконденсировавшихся на стенках цилиндров. Практика показывает, что в настоящее время доля коррозионно-механического изнашивания резко уменьшилась. Природа коррозионно-механического износа гильзы изучена еще недостаточно и не все процессы объяснимы с точки зрения износа. Нельзя рассматривать только коррозионно-механический износ гильзы без учета остальных факторов.

Анализ причин преждевременного износа гильз цилиндров показывает, что нарушение работоспособности обусловлено также кавитационными процессами и образованием трещин на зеркале гильзы в результате термоциклической усталости ее материала.

Кавитационное разрушение гильз цилиндров возникает в системе охлаждения двигателя под воздействием высокочастотных вибраций цилиндров, возмущаемых ударами поршня о стенки цилиндров в верхней мертвой точке. Вибрация вызывает в водяной рубашке образование и схлопывание кавитационных пузырей, что обуславливает кавитационную эрозию. Механизм разрушения металла при кавитации очень сложен и зависит от многих факторов, например, интенсивности и частоты вибрации поверхности, давления в среде и свойств материала разрушаемой поверхности.

Разрушение стенок и гильз цилиндров под воздействием кавитационной эрозии существенно снижает срок службы и надежность двигателей внутреннего сгорания. Практика эксплуатации двигателей показывает, что до 50% гильз, находящихся в работе, имеют кавитационные разрушения.

Кроме различных видов износа и кавитационной эрозии, значительное влияние на долговечность гильз цилиндров оказывают частые теплосмены, которые неизбежно происходят при эксплуатации двигателя. В результате в процессе работы происходит изменение макро- и микроструктуры сплава.

Рассмотренные выше виды износа цилиндров относятся к режимам эксплуатации двигателей. Молекулярно-механический износ и микросхватывания поверхностей кольца и цилиндра наблюдаются при недостаточной смазке верхней зоны цилиндра. Коррозионно-механический износ наблюдается при нарушении теплового режима двигателя. Абразивный износ является следствием плохой очистки воздуха, т.е. в первую очередь недостаточного уплотнения картера.

Во всех случаях эксплуатации и при любом доминирующем виде износа гильза изнашивается неравномерно по длине образующей цилиндра, имеет место ярко выраженный максимум в верхней части, в зоне между верхними мертвыми точками первого и второго компрессионного колец. Возникновение неравномерного износа цилиндра вызывает повышенные износы всех деталей цилиндропоршневой группы и резкое уменьшение надежности их работы.

За рубежом в основном применяют гильзы без термической обработки только для двигателей, работающих в условиях большой запыленности, используют закаленные гильзы. Гильзы имеют твердость HRC 50–55 при объемной закалке и HRV 800 при поверхностной. Большое внимание уделяют распределению остаточных напряжений в гильзах цилиндров. При литье в песчано-глинистую форму остаточные напряжения не превышают 50 МПа, поэтому они не могут оказать существенного влияния на изменение геометрии в процессе эксплуатации и на возможный процесс трещинообразования. В большинстве заготовок гильз, полученных центробежным способом литья, остаточные напряжения также малы ≈ 120 МПа, т.е. не превышают предела прочности материала (180–220 МПа). Суммарные напряжения, возникающие при последовательном снятии растягивающих слоев у одной из поверхностей посредством механической обработки, а также появление дополнительных напряжений от зажима заготовки на станке и усилия резания, в результате перераспределения напряжений могут превысить предел прочности материала. В ряде случаев это приводит к разрушению гильзы. Склонность к трещинообразованию отдельных гильз центробежного литья связана с наличием в них неблагоприятного распределения остаточных напряжений.

Таким образом, исходя из реальных условий эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, требования к гильзам цилиндров можно сформулировать следующим образом:

- высокая механическая, статическая и усталостная прочность;
- кавитационная и термоциклическая стойкость;
- высокая износостойкость и низкий коэффициент трения;
- коррозионная стойкость;
- стабильность свойств в процессе эксплуатации;
- гидрогазонепроницаемость;
- хорошая обрабатываемость резанием;
- технологичность получения заготовок.

В практике мирового двигателестроения для гильз цилиндров в качестве материалов применяются сырые, легированные и высокопрочные чугуны. Чугун лучше других материалов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к деталям цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, работающих в условиях граничной смазки.

Большинство производителей обеспечивают получение во втулках средне- и мелкопластинчатых включений графита завихренной формы, структурно свободный цементит вообще не допускают вследствие возможного выкрашивания его в зоне скольжения. Действуя как абразив, он может вызвать задиры и повышенный износ. Содержание феррита не более 5%, так как он способен пластически деформироваться, наклепываться и схватываться, приводя к неравномерному и интенсивному износу.

Содержание фосфора выбирают с учетом его влияния как на образование сетки фосфидной эвтектики, повышающей износостойкость, так и воздействием его на прочность, которая с увеличением содержания фосфора повышается.

Основными элементами, с помощью которых регулируют структуру металлической основы, а также количество, размер и форму графита, являются углерод, кремний и марганец. Содержание этих элементов выбирается с учетом толщины стенки гильзы. Применительно к деталям, работающим на износ, установлено, что увеличение общего содержания углерода повышает износостойкость, улучшает антизадирные свойства вследствие увеличения количества графита. Однако содержание углерода рекомендуется ограничивать, так как его чрезмерное содержание может привести к укрупнению графитных включений, которые легко выкрашиваются в процессе эксплуатации, сильно разрыхляя металлическую основу чугуна.

Марганец предупреждает выделение феррита, способствует отбелу и в известных пределах весьма благоприятно влияет на износостойкость деталей цилиндропоршневой группы, его содержание рекомендуют поддерживать в пределах 0,4–0,7%.

Присадкой повышенных количеств марганца можно значительно повысить прочность чугуна при малой степени измельчения графита.

В качестве легирующих элементов чаще всего применяют различные сочетания хрома, никеля, меди, ванадия, титана, молибдена, сурьмы и некоторых других элементов.

Анализ микроструктуры металлической матрицы чугунов, используемых для изготовления гильз цилиндров, свидетельствует о том, что практически все они перлитного класса. Закаленные гильзы используют только для двигателей, работающих в условиях большой запыленности. Термическая обработка позволяет значительно ослабить отрицательное действие таких факторов, как колебание химического состава, влияние температуры перегрева и заливки металла, некачественные эксплуатационные материалы, фильтры и т.п. Однако в процессе поверхностной термообработки, хотя и в меньшей степени, а объемной в большей наблюдается значительное коробление гильзы.

Бейнитный чугун имеет более высокую стойкость к абразивному изнашиванию и задиру, чем более мягкие марки чугуна, а это позволяет удвоить срок службы гильз. Мартенситная закалка еще более увеличила бы износостойкость (срок службы увеличивается в 5 раз), но полученная таким образом структура имеет небольшую стойкость к интенсивному задиру и ей необходим отпуск между 300 и 500°C для снижения твердости до 250–350 НВ.

Промышленное использование легирования ограничивается непостоянством получаемых результатов, что подтверждается практикой работы заводов при производстве заготовок для гильз цилиндров тракторных и автомобильных двигателей. Накопленный опыт применения чугунов для гильз цилиндров двигателей позволяет сделать вывод о том, что каждый из этих сплавов обеспечивает надежную работу гильз в течение 4,5–5,5 тыс. ч при условии равномерного распределения структурных составляющих, вредных примесей и неметаллических включений на рабочих поверхностях, а также применение совершенных фильтрующих устройств двигателей и высококачественных горючих и смазочных материалов. Равномерность свойств по сечению гильзы не является оптимальной. С эксплуатационной точки зрения можно считать, что оптимальной структурой на внутренней поверхности гильзы является бейнитная или мартенситная, а с наружной стороны — ферритная как наиболее теплопроводная структурная составляющая.

Получение высоких эксплуатационных свойств гильз цилиндров может быть достигнуто только за счет правильно выбранного технологического процесса и строгой оптимизации химического состава и структуры.