

УДК 621.431.74

В.М. Боровский, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

В.В. Алексеев, соискатель ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

Ю.И. Матвеев, доктор техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а

ОБКАТКА СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В работе приводятся материалы аналитического обзора о влиянии обкатки судовых дизелей на работоспособность и ресурс деталей цилиндропоршневой группы.

Ключевые слова: приработка, обкатка, поршневое кольцо, поршни, втулка цилиндра, шероховатость, микрорельеф, задир, трение.

Приработка – исключительно сложный и тонкий процесс, протекающий под влиянием большого числа различных факторов, некоторые из них непрерывно изменяются (шероховатость, форма поверхностей, площадь фактического контакта, напряженное состояние, направление следов обработки, условия смазки и др.). Неблагоприятное сочетание влияющих факторов может затруднить приработку или даже сделать ее невозможной из-за серьезных повреждений поверхностей трения. К таким результатам приводят, в частности, чрезмерно высокие нагрузки, слишком большие или очень малые скорости скольжения, повышенная температура, недостаточное смазывание и др. Поэтому двигатели в этот период нагружают постепенно, стараются обеспечить эффективное охлаждение и смазывание деталей, тщательно наблюдают за состоянием поверхностей трения, т. е. в этот период сознательно осуществляют ряд мероприятий, направленных на обеспечение быстрой и качественной приработки.

Продолжительность обкатки сравнительно невелика по отношению ко времени, необходимому для полной приработки. Однако за время обкатки должна быть завершена основная часть макроприработки, т. е. должно быть достигнуто достаточно хорошее прилегание поверхностей трущихся деталей, значительно увеличена площадь их фактического контакта, обеспечены эффективное смазывание и достаточно высокий уровень износостойкости рабочих поверхностей, чтобы при случайных изменениях условий трения, неизбежных в период эксплуатации дизеля, не повредить рабочие поверхности, приработка которых еще не завершена.

Критериями качественно проведенной обкатки являются: хорошее прилегание поверхностей трения (отсутствие прорыва газов в ЦПГ, резких изменений температуры подшипников и т. п.); постепенное и стабильное снижение скорости изнашивания; отсутствие новых повреждений на поверхностях трения; постепенное уменьшение и исчезновение следов старых повреждений; хорошее распределение смазочного материала на рабочих поверхностях.

Чтобы правильно провести обкатку, т. е. иметь возможность управлять процессом приработки, необходимо хорошо представлять те явления и процессы, которые происходят на рабочих поверхностях во время трения. Изучению этих явлений посвящено огромное число исследований, созданы различные теории трения. Однако до настоящего времени единой теории не существует – настолько сложны и многогранны явления, происходящие в зоне трения. Наибольшее распространение получила созданная И. В. Крагельским и его учениками молекулярно-механическая теория трения, которая разработана наиболее полно и доведена до практического использования. На ее базе созданы расчетные методы, дающие вполне удовлетворительные результаты. Однако, несмотря на большой объем выполненных исследований, до настоящего времени вопрос приработки остается одним из «белых пятен». Не существует не только общей теории этого процесса, но нет даже единого мнения о том, какой

должна быть исходная шероховатость поверхностей трения, как назначать продолжительность обкатки, с какой нагрузки ее нужно начинать и каким образом изменять нагрузку в этот период и т.д.. В то же время не вызывает споров, что обкатка имеет исключительную важность в общем процессе эксплуатации машины, так как неправильная приработка может свести к нулю все усилия, направленные на повышение качества проектирования, изготовления и монтажа узлов СДВС. И наоборот, качественная приработка способна исправить некоторые погрешности, допущенные при изготовлении и ремонте деталей СДВС.

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) судовых дизелей – один из наиболее нагруженных и ответственных узлов дизеля. Высокие пульсирующие температуры и давления, различные условия смазки, переменные скорости скольжения, агрессивная среда – неполный перечень условий, в которых работают данные детали. В первый период эксплуатации деталей ЦПГ после изготовления или ремонта эти условия усложняются тем, что новые поверхности трения не способны сразу воспринимать эксплуатационные нагрузки, так как рабочие поверхности деталей не приобрели нужную форму и шероховатость. В этих условиях высока вероятность схватывания поверхностей в местах фактического контакта, что может привести к повреждениям деталей. Такие случаи известны из практики эксплуатации различных дизелей. Многие авторы сходятся на том, что непременным условием схватывания является металлический контакт участков поверхностей, лишенных оксидных защитных пленок, а высокие температуры и пластические деформации поверхностного слоя деталей способствуют этому. При схватывании резко усиливается изнашивание, на стальных и чугунных поверхностях трения появляются так называемые «белые слои», обладающие высокой твердостью и хрупкостью. Легко выкрашиваясь и попадая в зону трения, «белые слои» вызывают усиленное абразивное изнашивание, которое в свою очередь создает условия для схватывания и образования новых «белых слоев». Такой процесс часто носит лавинообразный характер и приводит к полному выходу из строя деталей трения. Исследования «белых слоев» [5] показали, что их структура зависит от условий образования, а толщина может достигать 60 мкм. В работе [5] показано, что форсированный режим обкатки судовых дизелей может служить причиной появления «белых слоев».

Большое влияние на приработку оказывают такие факторы, как макро и микрогеометрия поверхностей трения, поскольку от них в значительной степени зависит площадь фактического контакта и характер деформации поверхностного слоя, а также количество, качество и распределение смазочного материала на поверхности. Новые поршневые кольца не могут плотно прилегать всей своей рабочей поверхностью к стенке цилиндра. Из-за неодинаковой жесткости в разных поперечных сечениях поршневое кольцо, вставленное в круглый цилиндр, изгибается неравномерно, и в отдельных местах между кольцом и стенкой цилиндра появляются просветы. Наличие просветов неизбежно в новой паре кольцо – втулка. Значения этих просветов H , мм, регламентированы РТМ 31.5028–77 в зависимости от диаметра цилиндра D : $H = 0,01 + 0,00008D$.

Через просветы и неплотности могут прорываться горячие газы из камеры сгорания, перегревая поверхности трения и сдувая с них масляную пленку. Специалисты фирмы «Зульцер» установили, что прорывы газов достигают значительных величин при ширине просвета свыше 20 мкм и практически исчезают при ширине просвета менее 10 мкм. Из вышеизложенного следует, что без приработочного износа обойтись нельзя, который во многом зависит от диаметра цилиндра, точности изготовления и монтажа деталей ЦПГ СДВС.

Известно, что поршневые кольца одного комплекта изнашиваются по-разному. Распределение износов связано с разностью давлений в заколочных пространствах, а также с герметичностью отдельных колец, установленные во втулке цилиндра.

Профили рабочих поверхностей поршневого кольца и цилиндра существенно влияют на значение и интенсивность прирабочного изнашивания. После приработки поршневые кольца приобретают бочкообразный профиль, который способствует появлению гидродинамической смазки на большей части хода поршня, а следовательно, снижению интенсивности изнашивания и повышению надежности работы деталей ЦПГ. Можно сделать вывод – обкатка ЦПГ протекает при граничной смазке. Это в первую очередь относится к верхнему поршневому кольцу. Известны методы создания гидродинамической смазки еще в период приработки. Например, японские специалисты считают целесообразным уже при изготовлении кольца придавать его рабочей поверхности бочкообразную форму. Обычно приработка позволяет за счет износа создать нормальное уплотнение камеры сгорания поршневыми кольцами. Однако если втулка цилиндра сильно изношена или имеет значительную деформацию, приработка затруднена, а иногда и невозможна.

От размеров и формы микровыступов зависят величина опорной поверхности (площадь фактического контакта) и напряжение на пятнах контактов. Впадины между микровыступами являются резервуарами масла, а следы механической обработки и царапины от изнашивания – каналами для ее распространения, вследствие чего шероховатость влияет и на способность поверхности аккумулировать масло. Тепло, выделяющееся в процессе трения, отводится вглубь тела как за счет теплопроводности материала детали, так и излучается в окружающую среду с поверхности трения. В этом процессе шероховатость играет очень важную роль, поскольку от нее зависит не только площадь поверхности излучения, но и ее излучательная способность. Чем грубее шероховатость, тем больше коэффициент «черноты» излучения, т. е. больше тепла излучает поверхность трения в окружающую среду.

Многочисленными исследованиями установлено, что шероховатость поверхностей трения, получающаяся в результате приработки, не зависит от исходной технологической шероховатости. Какой бы ни была исходная шероховатость (грубой или очень гладкой), после приработки устанавливается вполне определенный микрорельеф, зависящий только от условий трения, который называют равновесным. Пока сохраняются условия трения, не утрачивается и соответствующий микрорельеф поверхностей. Если поверхности слишком грубые, их взаимодействие сопровождается значительными пластическими деформациями микронеровностей и может привести к схватыванию и задирам. Однако практика показывает, что чрезмерно гладкие поверхности также не могут воспринимать рабочие нагрузки без повреждений. Для объяснения этого явления И. В. Крагельским и его учениками предложена гипотеза «пленочного голодания», согласно которой чем «глаже» поверхности, а следовательно больше размеры пятен фактического контакта, тем медленнее образуются на них защитные пленки и тем быстрее они изнашиваются.

Учитывая вышеизложенное, можно представить процесс формирования равновесного микрорельефа, если исходная шероховатость грубее равновесной, то вначале вступают в контакт наиболее высокие микровыступы, которых сравнительно мало, и на их вершинах развиваются большие напряжения, превосходящие предел упругости. Вследствие многократных пластических деформаций происходит быстрое разрушение этих микровыступов, вершины притупляются, высота уменьшается, и в контакт могут вступить другие, более низкие микровыступы и т. д. По мере выглаживания поверхностей в пятнах контакта пластические деформации уступают место упругим. Интенсивность изнашивания и тепловыделение от трения уменьшаются, улучшается смачиваемость поверхностей маслом [5]. В то же время снижение высоты микронеровностей ведет к уменьшению объема впадин между ними, которые служат резервуарами масла, а также к снижению излучающей способности поверхности и ухудшению теплоотвода от нее. Кроме того, из-за увеличения размеров пятен контакта ухудшаются условия образования на них защитных пленок, а изнашивание последних усиливается. Наконец, должен наступить такой момент, когда дальнейшее выглажи-

вание поверхностей приведет к появлению в отдельных пятнах контакта микрозади-ров. Это вызовет некоторое огрубление поверхности, после чего восстановятся нор-мальные условия трения, и процесс будет колебаться в области равновесного состоя-ния.

Если же исходная шероховатость значительно глаже равновесной, явления схва-тывания и задира появятся в самом начале приработки. В этом случае приработка окажется возможной, если микрозадиры не охватят больших площадей и не возникнет в результате этого пластическое течение больших участков поверхностей трения. Та-кие макрозадиры могут привести к катастрофическому изнашиванию. Из рассмотрен-ной модели следует, что равновесная шероховатость должна быть тем менее грубой, чем больше прочность масляной пленки, т. е. лучше смазочные свойства масел [нали-чие в маслах антиизносных и антизадирных присадок, поверхностно- активных ве-ществ (ПАВ), твердых смазочных материалов и т. п.], меньше нагрузка, выше анти-фрикционные свойства и антизадирная стойкость материалов пары трения, лучше организовано охлаждение деталей. Это согласуется с опытными данными. Такое вли-яние нагрузки на шероховатость установлено в работах [2,3,13], а получение более гладких поверхностей после приработки на маслах с антизадируемыми и антиизносны-ми присадками, ПАВ и дисульфидом молибдена отмечается в работах [1,5]. Исходная шероховатость поверхностей трения оказывает большое влияние на значение прира-боточного износа. Поэтому в тех узлах трения, где требуется значительная макропри-работка, выбор исходной шероховатости является одним из средств управления этим процессом. Правильно подобранная исходная шероховатость позволяет ускорить приработку и избежать излишнего приработочного износа.

При выборе режимов много споров вызывает вопрос о ступенчатом и бесступен-чатом нагружении. Установлено, что бесступенчатая приработка приводит к увеличе-нию начального износа на 45–60% по сравнению со ступенчатой, но завершается быстрее. В некоторых случаях бесступенчатой обкатки наблюдались более высокие температуры трения, а после ее окончания на поверхностях обнаруживали большое число повреждений, чего не было при ступенчатом повышении нагрузки [1]. Иссле-дованиями, выполненными в ОИИМФе под руководством А. И. Никифорова, уста-новлено, что наибольшую противозадирую стойкость поверхности трения приобре-тают, если на каждом нагрузочном режиме пара трения работает до стабилизации па-раметров изнашивания. Сокращение выдержки времени более чем на 30–35% приво-дит к увеличению температуры трения и снижению нагрузки задира. Эти результаты согласуются с данными работ [1] и свидетельствуют в пользу ступенчатой обкатки.

На качество приработки огромное влияние оказывает методика проведения об-катки. Общая продолжительность обкатки, количество обкаточных режимов, продол-жительность каждого режима, значение начальной нагрузки и ступени ее повышения при переходе с одного обкаточного режима на другой, частота вращения, топливо и смазочное масло – факторы, которые необходимо правильно выбрать для успешного проведения обкатки. Неблагоприятное сочетание этих факторов может привести к серьезным повреждениям деталей ЦПГ.

В последние годы наблюдается тенденция к постепенному сокращению сроков обкатки, что, вероятно, связано с появлением высококачественных цилиндрических ма-сел и накоплением опыта. Однако фирмы различно подходят к вопросу выбора режи-мов. Специалисты фирмы «Фиат», считают, что основная приработка происходит на режимах 60–80% нагрузки, а длительная работа на этих режима позволяет потом быстро довести нагрузку до полной. Эта фирма, в отличие от других, рекомендует повышать нагрузку мелкими ступенями.

Следует отметить, что продолжительность обкатки, назначаемая дизелестрои-тельными фирмами намного меньше рекомендуемой эксплуатирующими организаци-ями. Это можно объяснить тем, что дизелестроители больше основываются на опыт стендовых обкаток, а эксплуатационники накопили большой опыт обкаток на судах и,

повидимому, их рекомендации больше соответствуют действительности, так как учитывают качество ремонта и уровень технической эксплуатации судна.

Приведенный обзор рекомендаций по обкатке еще раз показывает, что в настоящее время не существует общепризнанной методики выбора условий и режимов, хотя фирмы, научные организации и специалисты эксплуатирующих предприятий интенсивно работают над совершенствованием этого исключительно важного процесса. Работы направлены главным образом на определение наиболее рациональных нагрузочно-скоростных режимов обкатки. В реальных условиях плавания не всегда имеется возможность точно следовать рекомендованному графику обкатки.

Выводы. Обкатка является обязательной операцией после любых работ на дизеле, связанных с нарушением условий трения и контакта рабочих поверхностей основных узлов дизеля. Цилиндропоршневая группа должна обкатываться после любого ремонта в том числе, если поршневые кольца не заменяли, но снимали с поршня для очистки, так как при съемке и надевании колец на поршень они получают некоторую остаточную деформацию и условия их контакта со стенкой цилиндра нарушаются. Обкатку можно производить на топливе, которое обычно применяют в эксплуатации, но при условии, что смазочное масло по составу своих присадок будет соответствовать содержанию серы в топливе.

Список литературы:

- [1] Владимиров В.А., Гриншпун А.Е. Обкатка судовых двигателей. 1982г. «Транспорт». М.
- [2] Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах. 1987г. «Транспорт». Москва.
- [3] Крагельский И.В. и др. Основы расчетов на трение и износ. 1977. Машиностроение М.
- [4] Семенов В.С. Теплонапряженность и долговечность ЦПГ судовых двигателей. 1977. М. Транспорт.
- [5] Энгелиш К. Поршневые кольца. 1963. Пер. немецкого, М. Машгиз.

MARINE ENGINE RUNNING

V.M. Bohr, V.V. Alekseev, Y.I. Matveev

The paper presents an analytical review of the materials on the impact of marine diesel engines running on the performance and service life of parts of the cylinder group.