

УДК 621.8

Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Часть 2

Зелинский В.В.

Приведены результаты экспериментальных исследований закономерностей приработки материалов основных трибосопряжений двигателей внутреннего сгорания, на основе которых проведена оптимизация режимов стендовой обкатки ряда конструкций тепловозных дизелей.

Ключевые слова: приработка, подшипник, материал, трение, скольжение, нагрузка, режим, закономерность.

Одним из методов повышения надежности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является трибологически обоснованная технология их приработки после изготовления и ремонта, целью которой является взаимное приспособление трущихся поверхностей подшипников скольжения кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Приработку проводят по определенным нагрузочно-скоростным режимам при автономной работе ДВС. Приработочные процессы протекают неравномерно, поэтому для некоторых тепловозных дизелей продолжительность приработки составляет до 15 часов, иногда происходят задиры деталей КШМ и ЦПГ. Однако создание обоснованной технологии, обеспечивающей эффективную по длительности и качеству приработку, затруднено из-за слабой изученности трибологии процесса.

Продолжительность и качество приработки узлов трения в условиях повышающихся внешних воздействий зависит от большого числа факторов. Анализ закономерностей процесса приработки показывает, что, несмотря на сложную зависимость его параметров от множества факторов, условиям трения в различных прирабатываемых сопряжениях, в том числе и дизеля, всегда свойственна определенная общность, состоящая в одностороннем изменении режима трения в сторону облегчения. При этом для любого сопряжения существует некоторый диапазон

условий трения, обеспечивающий изофрикционную приработку, основы которой изложены в первой части настоящей работы [1]. Очевидно, что нагрузочно-скоростные закономерности, обеспечивающие этот диапазон условий трения, находятся в тесной взаимосвязи с приработочными свойствами трущихся материалов. Следовательно эффективность обкатки дизелей может быть повышена трибологически обоснованной программой нагружения.

Как отмечалось, под изофрикционной приработкой понимается взаимодействие трущихся поверхностей в эквивалентных по обеспеченности смазкой условиях контактирования во всем диапазоне повышающихся нагрузочно-скоростных воздействий. Причем такому взаимодействию соответствует изменение трибоактивационных вкладов внешних воздействий пропорционально резервам возможностей оптимизационно-защитных механизмов прирабатываемых поверхностей трибосопряжений (приработочным свойствам материалов). Такое соотношению соответствует плавное уменьшение минимальных значений коэффициента трения на кривой Герси-Штрибека (соответствующей текущему трибосостоянию поверхности) с одновременным расширением режима гидродинамической смазки [1].

С целью выяснения закономерностей роста нагрузочно-скоростных воздействий, обеспечивающих изофрикционную приработ-

ку, были разработаны специальные методы испытаний и проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях. При этом узел трения рассматривался как саморегулируемая динамичная трибосистема, приспособляющаяся к внешним воздействиям за счет различных трибомеханических процессов. Изучались сплавы, применяемые в подшипниках скольжения КШМ (алюминиево-оловянные, медно-свинцовые, баббиты) и для деталей ЦПГ (антифрикционный чугун). Приработка материалов производилась на машине трения при смазке дизельным маслом М14В.

В результате были установлены закономерности повышения нагрузки и скорости скольжения, отвечающие условиям изофрикционной приработки материалов в течение всего периода повышения внешних воздействий [2,3,4,5], получены зависимости прирабочного нагружения во времени [3], оценены уровни запаса до заедания [4] и условия перехода трения в гидродинамический режим [5], изучено влияние скорости скольжения на условия возникновения задира при приработке [2,6]. При этом, благодаря методикам испытаний с обратной связью, в полученных закономерностях автоматически учитывались прирабочные свойства материалов сопряжений.

Проводились экспериментальные исследования приработки материалов в режиме ступенчато-возрастающей нагрузки при постоянной скорости скольжения. По окончании приработки при ряде нагрузок регистрировалась нагрузка, соответствующая границе раздела граничного и жидкостного трения и запас нагрузок до заедания. Установлено, что закономерности расширения области жидкостного трения по мере роста нагрузки для разных сплавов различны. Более чем вдвое различаются и максимальные значения границы жидкостного трения [5]. Обнаружены общая для всех сплавов закономерность мо-

нотонного снижения запаса нагрузок до заедания в функции действующей нагрузки и существенное влияние на этот запас материалов сопряжения [2]. По указанным закономерностям и текущим параметрам трения лучшие результаты показали алюминиево-оловянные сплавы и баббиты [4].

Проводились испытания с управлением подвода внешних воздействий по контролируемым параметрам – электросопротивлению трущегося контакта и силе трения. Такой подход позволил получить зависимости режимных факторов от времени при прохождении приработки в режиме смазки, обеспечивающей изофрикционность процесса, его равноэффективность и равнобезопасность. Было установлено, что все материалы имеют возможность для ускоренной приработки. Так для алюминиево-оловянных сплавов и баббита продолжительность приработки до предельной нагрузки не превышает 15...25 мин., для медно-свинцовых сплавов и чугунов – 75 мин. (рис. 1.). Закономерность роста нагрузки во времени для материалов первой группы имеет вид степенной функции, для материалов второй группы – близка к линейной.

Обнаружено, что общее влияние роста скорости скольжения состоит в уменьшении длительности приработки на первых этапах и в увеличении - на заключительных этапах. Установлена общая для сплавов на основе алюминия и баббитов взаимосвязь нагрузки и скорости скольжения, обеспечивающая проведение сокращенной и безопасной приработки [2,6,7].

Установлены графические и аналитические взаимосвязи минимальных значений коэффициента трения f при текущем трибосоостоянии и режимной характеристики приработки Z_{II} как безразмерных обобщенных критериев трения в процессе изофрикционной приработки для группы алюминиево-оловянных сплавов, баббита и медно-свинцовых сплавов [2,8].

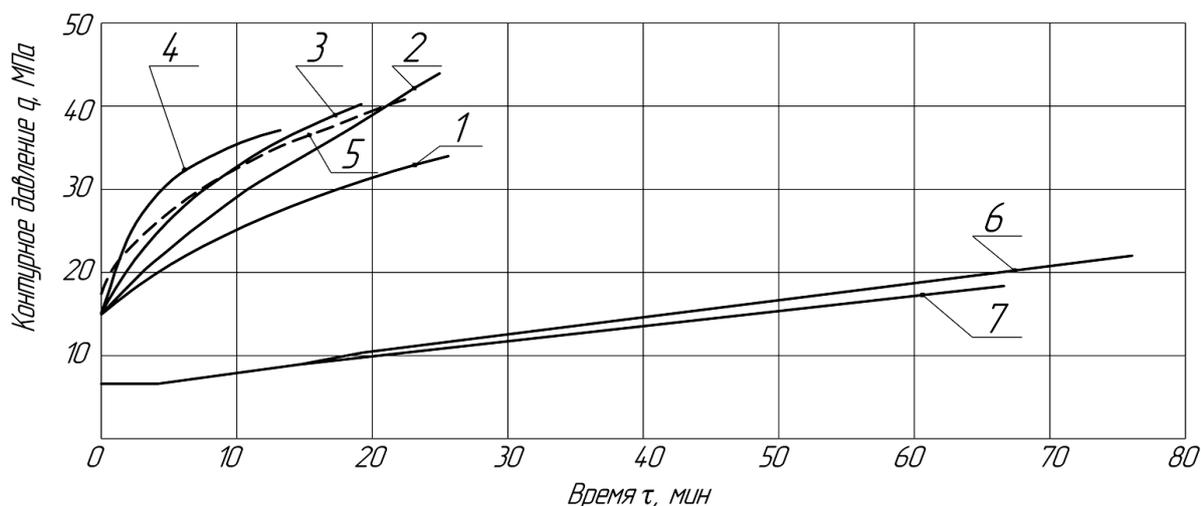


Рис. 1. Закономерности роста нагрузки во времени при изофрикционной приработке подшипниковых сплавов: 1 - АО3-1, 2 - АО9-1, 3 - АО20-1, 4 - АО50-1, 5 - Б83, 6 - БрС30, 7 - БрОС1-22.

При изучении закономерностей изменения шероховатости и износа поверхностей сплавов установлено, что приработка при возрастающей нагрузке происходит в два этапа за счет различных доминирующих механизмов. Вначале это происходит, в основном, за счет увеличения фактической площади контакта. Однако при изнашивании микровыступов до основания все материалы допускали дальнейший, почти двухкратный, рост внешней нагрузки. Это указывает на то, что подстройка трибосистемы на повышенных нагрузках реализуется за счет других, более тонких, оптимизационно-защитных механизмов: пластического течения поверхностного слоя, обогащения поверхности мягкой составляющей сплава, текстурирования трибослоя и др. Прохождение указанных процессов подтвердилось спектральным анализом поверхностного слоя и выявлением воспроизведения «равновесной» шероховатости после изнашивания микровыступов [2].

На основании системных лабораторных экспериментальных исследований процесса приработки материалов, аналитического изучения режимов обкатки тепловозных дизелей М753, М756 и 2Д100 и экспериментальной оценки этих режимов в заводских условиях были выявлены критериальные условия для

оценки любых режимов приработки ДВС с позиций трибологии процесса, а также разработаны приемы и методы оптимизации всей технологии ее проведения.

В частности, применительно к стендовой обкатке тепловозных дизелей М753, М756 и 2Д100, установленные принципиальные закономерности изофрикционной приработки материалов позволили сформулировать критериальные условия, соблюдение которых при назначении режима обкатки обеспечивает протекание приработки с сохранением примерно одинакового запаса до задира в течение всего обкаточного периода и сокращение его продолжительности. Сущность условий следующая [2,9].

1) Тормозная мощность должна повышаться ступенчато так, чтобы каждый ее последующий прирост был меньше предыдущего,

2) ступенчатый режим нагружения должен быть таким, чтобы приросты тормозного момента в функции действующих значений тормозной мощности уменьшались по закону гиперболы,

3) скорость роста тормозной мощности должна плавно снижаться в функции времени (экспоненциальный рост во времени). В последующем применении закономерностей

изофрикционной приработки к тепловозным дизелям 10Д100 [10,11] было сформулировано уточняющее дополнение

4) прирост тормозной мощности относительно критического ее значения (определяемого по внешней характеристике дизеля) не должен превышать 0,1...0,2.

В целом проведено совместно с ВНИИЖТ (в соответствии с договором о творческом содружестве и планами ГБ НИР) комплексное изучение режимов обкатки тепловозных дизелей М753, М756, 2Д100 и 10Д100, в том числе на локомотиворемонтных заводах и в депо Муром. Проведены их экспериментальные оценка и улучшение на основе установленных трибологических закономерностей приработки применяемых материалов сопряжений. Это позволило исключить задиры, до 1,8 раза сократить длительность обкатки и сэкономить до 45% горюче-смазочных материалов на один дизель. В настоящее время улучшенные режимы обкатки используются на локомотиворемонтных заводах РАО «Российские железные дороги» [12].

Литература

1. *Зелинский В.В.* Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Ч.1 // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: межвузовский сб. науч. работ. Вып. 6.* - М: ООО «Издательство «Машиностроение», 2009. - С. 117-121.

2. *Зелинский В.В.* Исследование закономерностей приработки подшипниковых материалов транспортных двигателей // *Дисс. ... канд. техн. наук.* - Москва: ВНИИМАЗ, 1979, 229 с.

3. *Буше Н.А., Зелинский В.В.* Совместимость трущихся пар в период приработки // *Вестник ВНИИЖТ, № 2, 1981, с. 38-41.*

4. *Буше Н.А., Зелинский В.В., Трушин В.В.* Оценка режимов трения и задиростойкости трибосопряжений // *Трение и износ. 1986, Т.7, № 5, с. 798-805.*

5. *Зелинский В.В., Буше Н.А.* Исследование гидродинамической нагрузочной способности подшипниковых материалов // *Исследование смазочных материалов при трении.* - Наука, ИМАШ АН СССР, 1981, с. 51-60.

6. *Зелинский В.В., Буше Н.А., Карасик И.И.* Закономерности приработки подшипниковых материалов в режиме возрастающих нагрузок и скоростей скольжения // *Повышение износоустойчивости и срока службы машин. Тезисы докладов VI Республиканской научно-технической конференции, Ч. 1, Киев, 1977, С. 16.*

7. *Бабкин Д.А., Зелинский В.В.* Установление взаимосвязи внешних воздействий с контактными давлениями в трибосопряжениях ДВС // *Современные наукоемкие технологии, № 3, 2005, С. 48-49.*

8. Исследование повышения надежности и экономичности приводов, машин и механизмов: отчет о НИР (окончат.) // *Владимирский политехнический институт; рук. Малясов В.В.* - Владимир, 1985, 71 с.- Испол.: Серов Б.А., Зелинский В.В. и др.- № ГР 81079654.- Инв. № 02850083150.

9. *Буше Н.А., Зелинский В.В., Жарков В.В., Буш Э.А.* Новый режим обкатки дизеля 2Д100 после ремонта // *Вестник ВНИИЖТ, № 1, 1988, с.31-34.*

10. *Буше Н.А., Волченков А.В., Соколов Б.Н., Зелинский В.В.* Улучшенные режимы обкатки дизелей // *Железнодорожный транспорт, № 7, 1989, С. 53-57.*

11. *Зелинский В.В., Буше Н.А., Волченков А.В.* Экспериментальная оценка обкатки тепловозных дизелей 10Д100 // *Экспресс-информация. Отечественный опыт / ЦНИИТЭИтяжмаш, серия 5 Транспортное оборудование, выпуск 10, 1988, С. 2-3.*

12. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. А.В.Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2003.-576 с.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2011 г.

The results of the experimental researches regularities of running-in materials tribojoining, on the basis of which conducted the optimization of regimes bench running of a number constructions locomotive diesel engine presented in the article.

Keywords: running-in, bearing, material, friction, sliding, load, regime, regularity.

Зелинский Виктор Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»