УДК 621.89.017

А.А.ПОДДУБНАЯ, А.С.ФОКИН,
С.Л.ИВАНОВ, Э.А.КРЕМЧЕЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)
В.С.ПОТАПЕНКО
ЗАО «МЕТКАТОМ»

ОЦЕНКА СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАСЕЛ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН

Нагрузочная способность масел определяется их смазывающей способностью. Ввиду недостаточной смазочной способности масел для пар трения, эксплуатируемых в условиях граничной смазки, распространено адсорбционно-коррозионно-усталостное изнашивание, в связи с чем важным является обоснованный выбор масел для трансмиссий горных машин. Предложен экспресс способ сравнительной оценки смазывающей способности масел.

Lubricating value shows loading capacity of transmission oil. Poor lubricating value of friction couples which are used at borderline lubrication ordinary have wear-out areas and these friction couples also fiercely attacked by corrosion. That's why a decision of choosing oil type have to be substantiated. In this article rapid method of lubricating capacity tests is offered.

Лабораторные исследования показали, что интенсивность изнашивания зубчатых колес трансмиссий в значительной степени определяется смазывающей способностью масел разделять контактирующие поверхности. Интенсификация их износа обусловлена разрушением смазочной пленки в зоне контакта и попаданием в смазку абразивных частиц или продуктов износа [4].

Условия эксплуатации зубчатых передач редукторов горных машин являются весьма тяжелыми. Достаточно сказать, что давление на отдельных участках линии зацепления достигает 2 ГПа, а скорость относительного скольжения 12 м/с, при этом температура в контакте 150-200 °С [3]. В столь тяжелых условиях эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, обеспечивая снижение, износ и вероятность питтингового разрушения. Кроме перечисленных требований, смазка должна иметь стабильную вязкость, низкую температуру застывания, защищать детали от коррозии.

Как правило, испытания по определению смазывающей способности масел проводятся на четырехроликовых машинах трения, при этом фиксируется максимальное давление, при котором происходит схватывание. Однако для оценки применимости масел важно оценивать функционирование контакта во всем диапазоне нагрузок, а не только в условиях схватывания.

При реализации контакта в паре трения часть энергии, передаваемой через контакт, безвозвратно деградирует, преобразуясь в тепло, вибрационные и акустические колебания [2]. Величина акустико-эмиссионного сигнала, связанная с упругозапасенной долей энергии деформации, коррелирует с высокочастотными изменениями производной момента трения. При этом момент трения является мерой энергозатрат в зоне трения на локальных пятнах адгезионного изнашивания, а коэффициент трения прямо пропорционален величине акустической эмиссии.

Для оценки процессов, происходящих в контакте испытуемой пары, был выбран акустико-эмиссионный метод, основанный на регистрации и последующей обработке параметров акустических сигналов ультразвукового диапазона, сопровождающих локальную перестройку структуры материала,

зарождение и развитие микро и макродефектов [1]. Для проведения испытаний по оценке смазывающей способности трансмиссионных масел в широком диапазоне нагрузок был создан лабораторный стенд (рис.1).

Стенд состоит из плиты 1, с установленной на ней толстостенной шайбой 2 (толщина стенки 25 мм) для лучшего отвода тепла из зоны трения. Полость шайбы представляет собой масляную ванну 3, заполненную машинным маслом. В масляную ванну помещен индентор 4, закрепленный в шпинделе сверлильного станка, скорость вращения шпинделя составляет $n = 685$ об/мин. Индентор 4 прижимается к плите 1 через механизм вертикального перемещения шпинделя 6. Нагрузка контакта индентор – плита осуществляется посредством груза, закрепленного на рычаге 5. Контроль температуры масляной ванны проводился электронным термометром 10 щуп которого 7 помещался в масло. Для контроля величины акустической эмиссии в эксперименте на плите 1 неподвижно закреплен датчик 8 прибора ультразвуковой диагностики АРП-11 9. Весь комплекс установлен на столе вертикального сверлильного станка.

Акустико-эмиссионные сигналы, возникающие в контакте плита – индентор, преобразуются в датчике в электрический сигнал, которые после усиления поступают в широкополостный фильтр прибора, далее выделенный сигнал передается на аналого-цифровой преобразователь, перерабатывается в центральном процессоре, запоминается и выводится на дисплей прибора в виде интегрального показателя D – энергии акустико-эмиссионного сигнала.

Для проведения подобных испытаний были выбраны масла следующих типов: ТЭП-15; ТАП-15; И-40; И-20; Ренолин, которые нашли широкое применение в трансмиссиях горных машин.

Испытания на лабораторном стенде производились в следующем порядке. Первый пуск стенда для каждого типа масла производился без нагрузки (холостой ход), далее нагрузка дискретно увеличивалась перемещением груза 6 по рычагу 5 до момента схватывания. Каждому запуску и остановке предшествовал замер начальной и конечной температур масляной ванны, фиксировалось изменение температуры масла в процессе эксперимента. При этом одновременно проводились измерения акустико-

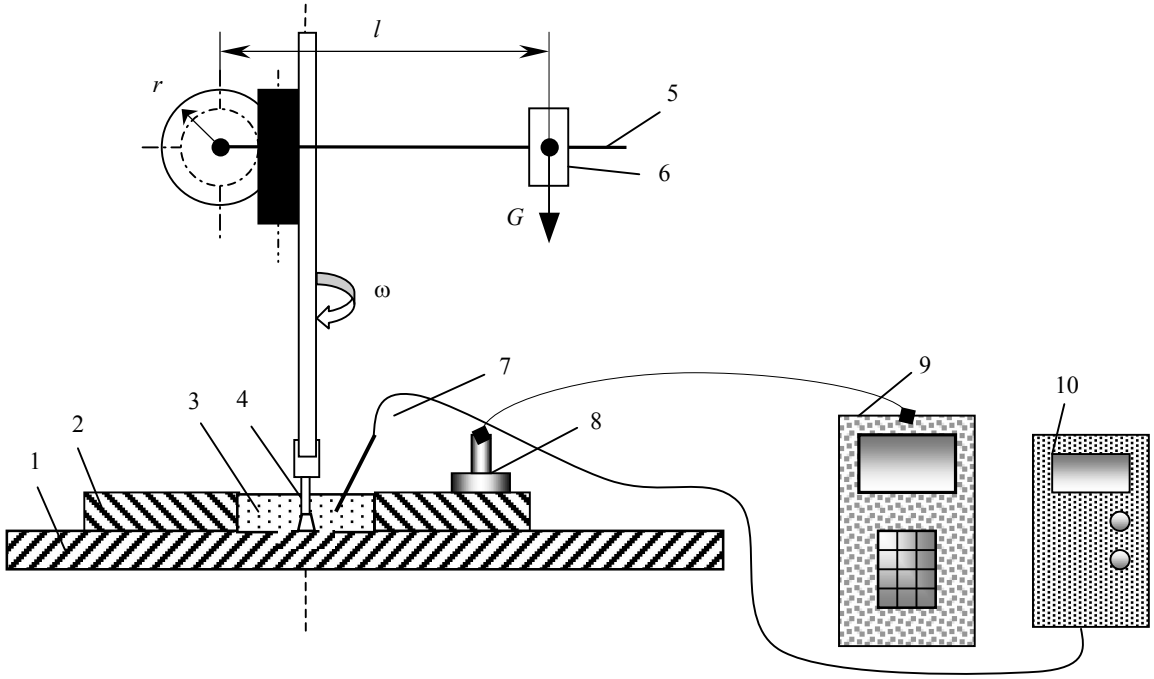


Рис.1. Схема испытательного стенда

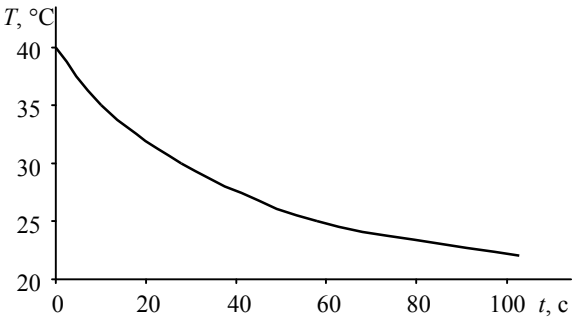


Рис.2. Изменение температуры системы при остывании

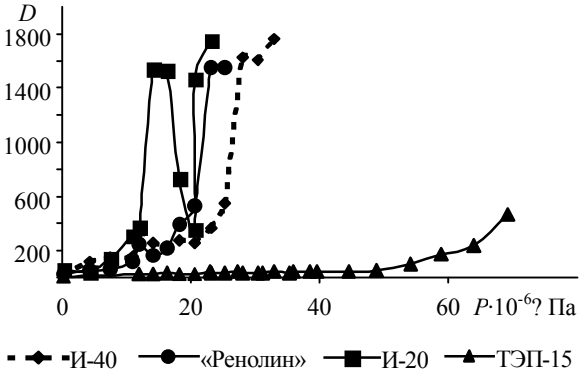


Рис.3. Изменение величины акустической эмиссии для различных масел в функции давления в паре трения

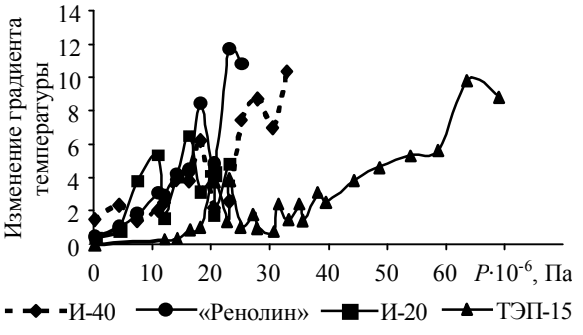


Рис.4. Изменение градиента температуры для различных масел в функции давления в паре трения

эмиссионного параметра D через равные промежутки времени. Учитывая хорошую повторяемость результатов опытов, для каждой нагрузки проводились троекратные замеры. Время работы стенда в каждом эксперименте составляло 20 с, после чего стенд отключался для охлаждения до комнатной температуры. Для каждого типа испытываемого масла производилось от 12 до 25 запусков стенда в зависимости от величины их смазывающей способности.

Выбор площади контакта в паре плита – индентор был обусловлен возможностью создания давления, обеспечивающего реализацию всех видов трения: от жидкостного до сухого в пределах мощности, развиваемой электродвигателем вертикально сверлильного станка. При этом учитывалось, что количество выделяемого в процессе трения тепла прямо пропорционально моменту трения в паре, ведет к нагреву системы. Для снижения эффекта нагрева масла плита и шайба выполнены массивными, а эксперименты проводились со значительными перерывами.

Вместе с тем, для определения скорости отвода тепла был проведен опыт, при котором масло нагревалось от 22 до 40 °С, с последующем измерением времени его остывания. Колебания интенсивности снижения температуры масла в описываемых условиях для выбранных в эксперименте марок масел находились в пределах точности измерений. Усредненный график изменения температуры системы при естественном остывании представлен на рис.2.

Для оценки действительных усилий прижатия индентора к плите через реечную передачу предварительно были осуществлены замеры с использованием электронных весов «Штрих М II», «SW-2» с ценой деления 3 г, 1 г, диапазоном измерений 15 кг и 6 кг соответственно.

По результатам экспериментально полученных данных для каждого типа масла были построены графики изменения температуры и акустико-эмиссионного параметра D в зависимости от давления в контакте, характеризующие смазывающую способность рассматриваемого масла. На рис.3 и 4 представлены кривые изменения величины акустической эмиссии D и температуры масла в функции давления в паре плита – индентор.

При сравнении рис.3 и 4 видно, что изменение величины акустико-эмиссионного показателя D и интенсивность нагревания масляной ванны при проведении эксперимента имеют схожие тенденции. При этом наилучшей смазывающей способностью обладает масло ТЭП-15, которое рекомендовано для трансмиссии горных машин заво-

дами-изготовителями масел и превышает другие масла по этому показателю более чем в два раза. Наихудший показатель имеют масла И-20 и «Ренолин». Чистое масло И-40 незначительно превосходит их по сравниваемому показателю. Все экспериментальные кривые имеют характерные экстремумы и участки, присущие различным видам трения. Полученные экспериментально кривые изменения величины акустико-эмиссионного сигнала были подвергнуты обработке. В качестве примера на рис.5 представлен график изменения смазывающей способности масла И-40.

Для анализа полученных результатов весь диапазон нагрузки был разбит на три участка, соответствующие жидкостному, полужидкостному и сухому трению. Характер изменения кривой акустической эмиссии D аналогичен известной диаграмме Герси – Штрибека, что подтверждает взаимосвязь между величиной уровня акустико-эмиссионного сигнала и коэффициентом трения. Обработанные кривые можно аппроксимировать системой уравнений:

$$\begin{cases} y = 28{,}35e^{0{,}202x}, \\ 0 < P < 12; \\ y = 0{,}35x^3 - 14{,}41x^2 + 178{,}59x - 345{,}16, \\ 12 < P < 25; \\ y = 0{,}0021x^4 - 1{,}4521x^3 + 379{,}69x^2 - \\ - 43798x + 2E + 06, \\ 25 < P < 33. \end{cases}$$

Аналогично обработаны данные для масел «Ренолин», И-20, и ТЭП-15.

Система уравнений для масла И-20:

$$\begin{cases} y = -0{,}2745x^3 + 8{,}4134x^2 - 236{,}945x + 65{,}337, \\ 0 < P < 11; \\ y = -83{,}62x^2 + 2538{,}9x - 17711, \\ 11 < P < 18; \\ y = 52{,}07x^2 - 21942x + 18834, \\ 18 < P < 23. \end{cases}$$

Система уравнений для масла «Ренолин»:

$$\begin{cases} y = 27{,}954e^{0{,}1306x}, \\ 0 < P < 11; \\ y = -0{,}0508x^3 + 16{,}795x^2 - 2448{,}36x + 3288{,}3, \\ 11 < P < 18; \\ y = -22{,}095x^3 + 1437{,}5x^2 - 230734x + 216833, \\ 18 < P < 25. \end{cases}$$

Система уравнений для масла ТЭП-15:

$$\begin{cases} y = 14{,}29e^{0{,}0439x}, \\ 0 < P < 25; \\ y = -0{,}021x^4 + 2{,}59x^3 - 3118{,}27x^2 + \\ + 2385{,}5x - 17886, \\ 25 < P < 35; \\ y = -0{,}597x^2 - 251{,}57x + 1142{,}6, \\ 35 < P < 70. \end{cases}$$

В заключение следует отметить тот факт, что акустико-эмиссионный показатель D позволяет фиксировать условия трения в контакте плита – индентор, что подтверждается совпадением характеристики полученных кривых с кривыми изменения температуры при заданных нагрузках. При этом характер изменения показателя D зеркально подобен кривой Герси – Штрибека, так как оценивает характер сопротивления в кон-

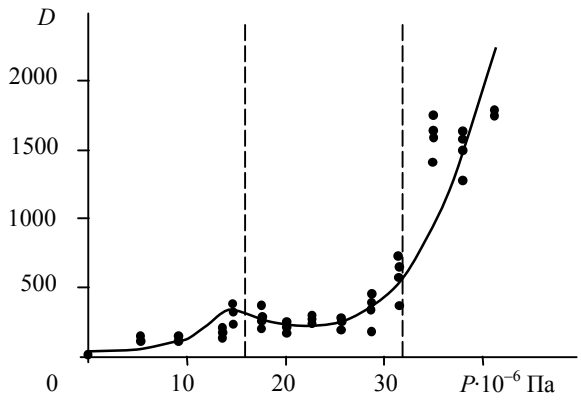


Рис.5. Изменение акустико-эмиссионного параметра D при испытаниях смазывающей способности масла И-40

I – участок жидкостного трения; II – участок полужидкостного трения; III – участок перехода на сухое трение

такте и таким образом характеризует изменение коэффициента трения в нем. Вместе с тем предложенный способ сравнительной оценки смазывающей способности масел может быть легко реализован без применения специальных стендов и позволяет оценить смазывающею способность масел практически в любых условиях производства, оценивать влияние присадок и примесей в маслах трансмиссии горных машин, подобрать масла для заданных условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

4. Проблемы машиноведения: точность, трение и износ, надежность, перспективные технологии / Под ред. В. П. Булатова. СПб: Наука, 2005.

3. Надежность технологических, энергетических и транспортных машин / http://www.samgtu.ru/structure/ntc/17.doc

2. *Иванов С.Л.* Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе энергонагруженности их элементов // СПГГИ. СПб, 1999.

1. Акустико-эмиссионный метод контроля процессов пластической деформации и разрушения металлических материалов / ЗАО «Специальные диагностические системы»; http://sds.ru/articles/ae_review/index.html