

УДК
620.169.2/
621.89.09

А.С. Фокин

ИСПЫТАНИЯ СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОК

При моделировании изнашивания необходимо знать напряженное состояние и поле температур, которые возникают в теле при заданных внешних условиях взаимодействия, свойств контактирующих материалов и макро- и микрогеометрии поверхностей (состояние контакта).

Ключевые слова: акустическая эмиссия, трибосистема, горные машины, трансмиссии, смазка.

В зубчатых передачах контакт между зубьями осуществляется по линии, поэтому контактные давления велики и достигают 2 ГПа, скорость скольжения в открытых крупномодульных цилиндрических передачах составляет менее 3 м/с, при этом температура в контакте варьируется в широком диапазоне и может достигать 150–200 °С. В столь тяжелых условиях эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, снижать износ. Кроме перечисленных требований, смазка должна иметь стабильную вязкость, низкую температуру застывания, хорошие противокоррозионные свойства.

Важнейшим показателем смазок является их смазывающая способность, т.е. способность создавать на поверхности детали тонкую защитную пленку, препятствующую непосредственному контакту, а следовательно, адгезии, задиру и заеданию при металлическом контакте.

Разрушение смазочной пленки между контактирующими поверхностями сопровождается резким возрастанием трения, износа, разрушением контактирующих поверхностей вследствие схватывания и заедания [1].

Метод акустической эмиссии заключается в регистрации упругих волн посредством пьезоэлектрических датчиков, излучаемых трибосистемой. Возникновение волн происходит в процессе образования и развития дефектов в трущихся телах. Поэтому, сравнивая параметры регистрируемых волн, можно судить о процессе разрушения поверхностей трущихся тел.

Выбранный метод не зависит от температуры и материалов пары трения, от свойств испытываемой смазки, а также от площади контакта.

Испытание смазывающей способности проводилось на образцах консистентных смазок, применяемых в тяжелонагруженных тихоходных узлах горных машин.

Каждый образец консистентной смазки испытывался на способность сохранять разделительный слой между трущимися поверхностями.

Для чего пара трения «контртело – плита» помещается в испытываемый образец смазки. Обеспечение заданной угловой скорости контртела в диапазоне от 25 до 65 рад/с, регулируется параметрами питающего напряжения электродвигателя стенда. Давление в паре трения изменяется ступенчато в диапазоне от 40 МПа, до 120 МПа. Контроль характера взаимодействия в паре трения «контртело – плита» определялся прибором АРП-12 путем фиксации показателя акустической эмиссии D . Учитывая тот факт, что результаты экспериментов имеют хорошую сходимости (предел сходимости соответствует 10%), величину показателя D получаем как среднее арифметическое трех измерений в эксперименте для каждого сочетания частоты вращения и давления в паре трения.

В зависимости от величины показателя D определялся тип трения. Показание до 50 единиц соответствует объемному (жидкостному). Объемное трение представляет собой такой вид контактного взаимодействия твердых тел, при котором их поверхности трения полностью разделены смазочным материалом. При этом непосредственный контакт сопрягаемых тел исключен, а сопротивление относительному перемещению этих тел определяется внутренним трением смазочной среды. Толщина смазочного слоя при объемном трении многократно превышает толщину граничной пленки.

Показание от 50 до 250 единиц соответствует граничному режиму трения которое представляет собой такой вид контактного взаимодействия, при котором трущиеся тела разделяются граничными слоями, образующимися в результате физической адсорбции или химической реакции смазочного материала с материалом трущихся тел, а фрикционные характеристики пары трения определяются свойствами этих слоев и практически не зависят от объемных вязкостных свойств смазочного материала. Толщина адсорбционного граничного слоя, состоящего из оксидов металлов, адсорбированных молекул газов,

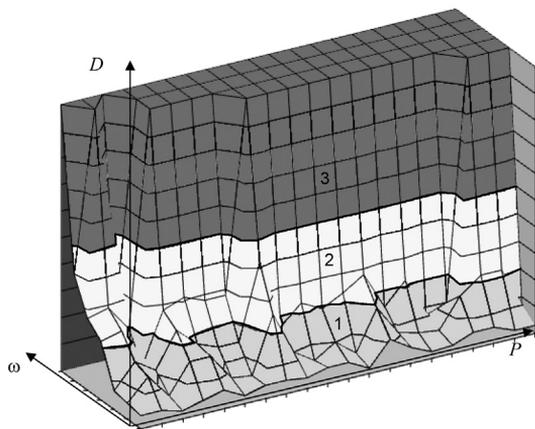


Рис. 1. Изменение типа трения от давления и скорости в контакте

влаги и смазочных веществ, соизмерима с максимальной высотой неровностей профиля. Граничное трение имеет место в низкоскоростных узлах трения.

Показание свыше 250 единиц соответствует сухому трению, которое представляет собой такой вид контактного взаимодействия, при котором смазка не в состоянии разделить трущиеся тела, в результате происходит физический контакт твердых тел, а фрикционные характеристики пары трения определяются свойствами материала этих тел. Сухое трение приводит к быстрому износу, схватыванию и свариванию поверхностей трения. Данный показатель является предельным для смазки и характеризует ее смазочную способность.

На рис. 1 представлена диаграмма измерений показателя D акустической эмиссии в функции от угловой скорости вращения и давления в паре трения для смазки «Солидол Ж». Здесь по осям отложены: D – величина показателя акустической эмиссии D , ω – величина угловой скорости вращения в паре трения рад/с, p – давления в паре трения МПа.

На рис. 1 цифрой 1 обозначен диапазон объемного трения (до 50 ед.); цифрой 2 – диапазон граничного трения (50–200 ед.); цифрой 3 – область сухого трения (свыше 200 ед.). Линиями показаны графики изменения показателя D в зависимости от изменяющихся угловой скорости и давления в паре трения. В узлах пересечения находятся точки, полученные при измерении в процессе проведения эксперимента. Для построения подобной трехмерной области в результате эксперимента было получено

140 характеристических точек с проведением более 500 измерений показателя D для каждой исследуемой смазки. Подобная зависимость имела место и при испытании образцов других смазок.

Анализ рис. 1 показывает, что во всех сериях экспериментов обязательно присутствуют три области – объемного трения (зона под цифрой 1), граничного (зона под цифрой 2) и сухого (зона под цифрой 3). При этом зона объемного трения увеличивается с повышением скорости скольжения и снижением давления в контакте. Ступенчатый характер этих зон можно объяснить дискретностью условий проведения экспериментов (ступенчатое изменение нагрузки и скорости), вызванное большим объемом получаемой в процессе эксперимента информации и в связи с этим необходимостью разумного ее ограничения.

При обработке экспериментально полученных данных был проведен анализ влияния каждого из рассматриваемых факторов (угловой скорости и давления в паре) на характер трения для исследуемых смазок.

На рис. 2 представлены графики изменения величины акустической эмиссии, выраженной через показатель D , для последовательного ряда угловых скоростей при неизменных давлениях в паре. Результаты экспериментальных данных были обработаны с получением среднегармонической оценки трех измерений с последующей аппроксимацией степенной функцией.

Как видно из представленного рисунка существует устойчивая тенденция увеличения показателя D с возрастанием угловой скорости, при этом чем выше давление в паре трения тем интенсивнее происходит переход от объемного к сухому трению.

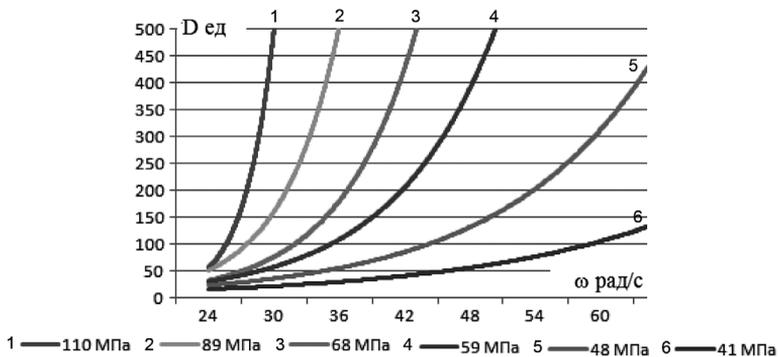


Рис. 2. Зависимость вида трения от скорости в паре трения

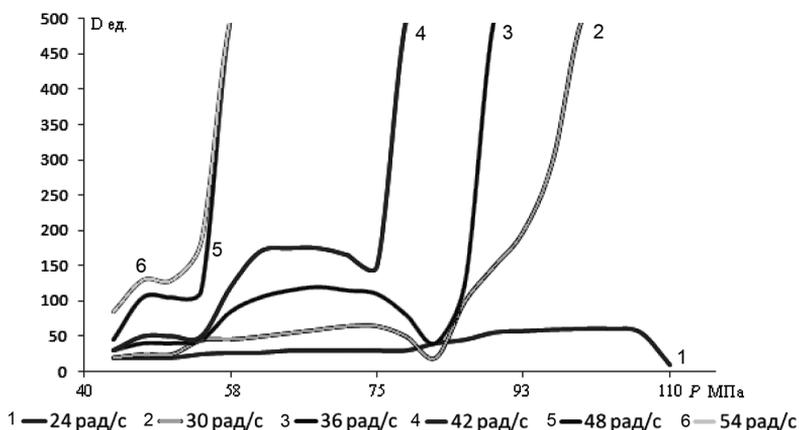


Рис. 3. Зависимость вида трения от давления в паре трения

На рис. 3 представлены графики изменения величины акустической эмиссии, выраженной через показатель D , для последовательного ряда давлений в паре трения при неизменных угловых скоростях. Экспериментально полученные данные не удалось аппроксимировать с достаточной точностью какой либо функцией поэтому данные были подвергнуты линейной фильтрации с использованием Excel.

Подобно влиянию угловой скорости просматривается тенденция изменения величины акустической эмиссии, соответствующей коэффициенту трения, в зависимости от величины давления в паре. У всех кривых имеется характерная точка перегиба, в зоне граничного трения, после прохождения которой происходит резкое возрастание трения, сопровождающийся стремительным переходом в зону сухого трения. В зонах объемного и граничного трения имеют место нелинейное изменение с промежуточным экстремумом измеряемого показателя D . Переход к сухому трению при высоких скоростях происходит уже при небольших значениях давления, при этом при малых скоростях в паре трения сохраняется объемное трение даже при значительных усилиях.

Учитывая выявленные тенденции на основании лабораторных экспериментов удалось выявить для разных видов смазок общие области граничного трения и описать математически верхнюю и нижнюю ее границы. Данная область является предельной для конкретного вида смазки и разделяет области объемного и сухого трения.

На рис. 4 показан график позволяет оценить условия работы пары трения и выбрать рациональные условия ее эксплуатации для данного вида смазки.

Общим для всех смазок является форма области граничного трения – увеличивающаяся в диапазоне высоких скоростей и малых давлений в паре и сходящая нанет при меньших скоростях и больших давлениях в паре трения.

Границы области граничного трения для консистентных смазок описываются следующими выражениями:

«Солидол Ж»

$$y = 48,926e^{-0,004x} \quad R^2 = 0,8005; \quad y = 59,058e^{-0,005x} \quad R^2 = 0,7264$$

«Литол»

$$y = 54,683e^{-0,006x} \quad R^2 = 0,8532; \quad y = 83,369e^{-0,009x} \quad R^2 = 0,9177$$

«Графитная»

$$y = 66,873e^{-0,006x} \quad R^2 = 0,7045; \quad y = 70,912e^{-0,005x} \quad R^2 = 0,8643$$

«Castrol MS3»

$$y = 54,346e^{-0,003x} \quad R^2 = 0,7332; \quad y = 73,532e^{-0,006x} \quad R^2 = 0,8418$$

«Castrol MLX»

$$y = 76,392e^{-0,006x} \quad R^2 = 0,772; \quad y = 87,84e^{-0,006x} \quad R^2 = 0,7146$$

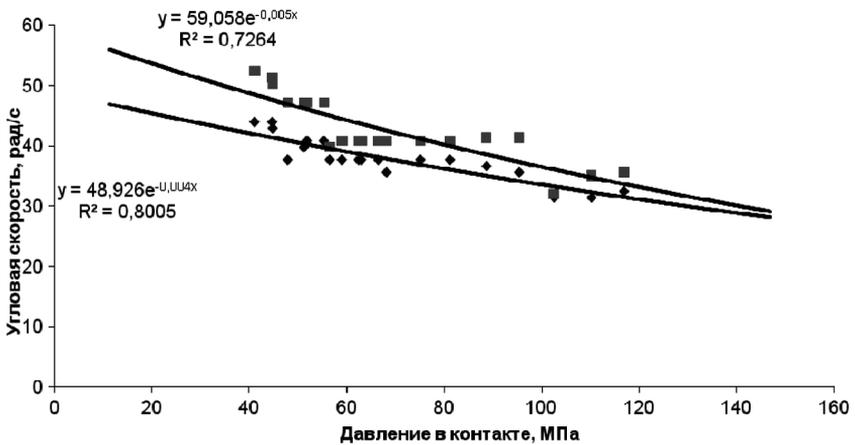


Рис. 4. Зависимость вида трения от давления и угловой скорости в паре трения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэро Э.Л., Бессонов Н.М., Булыгин А.Н.* Аномальные свойства жидкостей вблизи твердой поверхности и моментная теория // Коллоидный журнал. — 1998. — Т. 60. — № 4. — С. 446–453. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Фокин Андрей Сергеевич — кандидат технических наук, доцент,
e-mail: fokin@spmi.ru,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC
620.169.2/
621.89.09

A.S. Fokin **TESTS OF OILING ABILITY OF GREASING**

Modeling of wear needs knowing data on stresses and temperature field in a body under preset external conditions of interaction, properties of materials in contact and macro- and micro-geometry of contact surfaces (state of contact).

Key words: acoustic emission, tribosystem, mining machines, transmission gears, lubrication.

AUTHOR

Fokin A.S., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: fokin@spmi.ru, National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Aero E.L., Bessonov N.M., Bulygin A.N. *Kolloidnyy zhurnal*. 1998, vol. 60, no 4, pp. 446–453.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ С УЧЕТОМ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ

(№ 1064/2-16 от 14.12.15, 7 с.)

Сергей Сергеевич Волков — аспирант, НИТУ «МИСиС»,
e-mail: serg-025@yandex.ru.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE PRIMORSKY KRAI, TAKING INTO ACCOUNT INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE FIELD OF COAL MINING

Volkov S.S., Graduate Student, Mining Institute,
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.