

СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА В ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ В ПЛАСТИЧНУЮ СМАЗКУ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

В. И. КРАВЧУК, И. И. ПИЛИПЕНОК

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т. В. ВИГЕРИНА, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

В работе показано, что для увеличения срока службы деталей тяжело нагруженных узлов трения автомобилей рекомендуется использовать комплексные смазки: литиевую смазку с использованием структурирующей и прирабочной добавки в виде пакета наноразмерных алмазов и сульфат-кальциевую с добавками фторопласта и вязкостной присадкой. Испытания смоделированы на основании условий работы пары трения ось – втулка балансира, эксплуатируемые с контактным давлением 1,5–6,0 МПа. Установлено, что для пары трения «бронза - сталь» в условиях граничного трения при указанном контактном давлении максимальная износостойкость образцов на стадиях приработки и устоявшегося трения достигается при использовании комплексной сульфат-кальциевой пластичной смазки с добавками фторопласта и вязкостной присадкой. Использование комплексной литиевой смазки с наноразмерными алмазами сокращает период приработки на всех указанных режимах и эффективна при удельной нагрузке, не превышающей 3 МПа.

Ключевые слова: узлы трения скольжения; трибомодифицирование; комплексные смазки; наноалмазная шихта; коэффициент трения; износ.

1. ВВЕДЕНИЕ

В современных автомобилях имеются пары трения скольжения, работающие в тяжелых условиях. Высокие значения удельных нагрузок и скоростей вращения, нередко действующих совместно с динамическими нагружениями, а также высокими температурами, как правило, при недостаточной смазке, создают весьма неблагоприятные условия работы узлов трения, что приводит к потере их работоспособности. Для повышения ресурса трения необходимо использовать смазки, уменьшающие площадь металлического контакта.

В настоящее время получили широкую распространенность смазки с введенными третьими компонентами в их состав. Введенные в состав смазки – это разнообразные твердые добавки, которые даже в случае выдавливания смазочного материала из зоны трения, остаются в ней, образуя разделяющий слой, снижающий степень металлического контакта поверхностей.

Триботехническое модифицирование испытываемых смазок производилось посредством введения наноалмазной шихты и фторопласта.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемые образцы изготовлены из бронзы Бр05Ц5С5 ГОСТ 613-79 и представляют собой ролик Ø 10 x 15 мм. В качестве контртела был выбран диск Ø 70 x 6 мм из закаленной стали 45.

Триботехнические испытания проводились на универсальной машине трения ММВ – 1А вертикального типа с компьютерным управлением. Машина поддерживает силу нагрузки в течении эксперимента постоянной с отклонением ± 2 Н. Относительная погрешность измерения силы трения не превышала ± 2 % при жидкостном режиме смазывания. Модель испытаний приведена на рисунке 1.

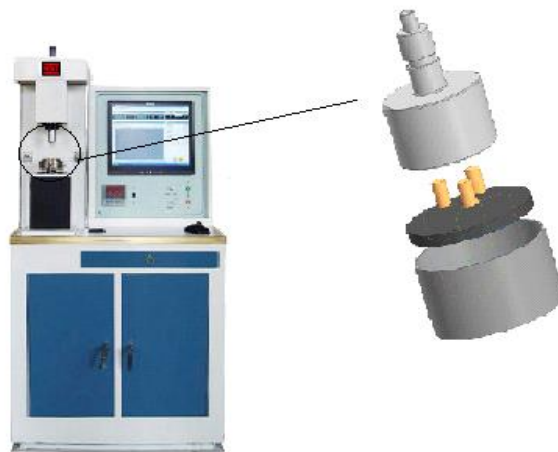


Рис. 1. Модель испытаний

Перед проведением исследования для повышения точности эксперимента производилась подготовка поверхности образцов. Для уменьшения шероховатости производилась притирка с использованием наждачной бумаги зернистостью Р600.

В процессе испытаний фиксировались значения величин силы трения и коэффициента трения с частотой один раз в 1 с. в режиме реального времени с возможностью сохранения в файл. Полученные данные аккумулировались в графическом и текстовом виде, и после аппроксимации подвергались анализу.

Интенсивность изнашивания оценивалась массовым износом Δm , мг на аналитических весах AS 60/220/C/2/N после прохождения заданного интервала, м.

Для определения зависимости влияния нагрузочно-скоростных режимов трибозаимодействия была использована пластичная комплексная литиевая смазка +1,0 мас. % ША-А и комплексная сульфат-кальциевая с добавками фторопласта и вязкостной присадкой. В качестве базовой смазки была выбрана серийно выпускаемая пластичная смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87).

Режимы трения при испытании образцов: давление 3-6 МПа; скорость скольжения - 0,1 м/с; расстояние, пройденное образцами – 500–3000 м.

3. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Результаты испытаний, приведенные на рисунке 2 (а, б), показали, что влияние модифицирующей добавки к смазке на процессы изнашивания зависит от давления. При относительно низком номинальном давлении 3 МПа износ образцов из бронзы Бр05Ц5С5 при трении в среде смазки модифицированной наноразмерными алмазами сопоставим с массовым износом образцов, испытываемых в смазке Литол-24 (рис. 2 а). Минимальным износом (~ 2 раза меньше) обладает образец работающий в комплексной сульфат-кальциевой смазке с добавками фторопласта и вязкостной присадкой. С увеличением контактного давления до 6 МПа массовый износ для смазки с ультрадисперсной алмазографитовой шихтой (УДАГ) в 1,12 раз превышает износ Литол-24 и в 4 раза износ смазки с добавками фторопласта. Однако следует отметить, что при различных давлениях период приработки смазок с наночастицами завершается в интервале от 500 до 1500 м, тогда как приработка с использованием смазки Литол-24 достигает 5000 м. Повышение триботехнических свойств и снижение периода приработки при модифицировании пластичной смазки наноразмерными частицами может быть обусловлено как изменением физико-химических и реологических свойств смазочного материала (в частности повышением термостойкости и несущей способности масляной пленки), так и упрочнением поверхностных слоев пары трения за счет их интенсивного пластического деформирования в процессе трения со смазочным материалом, содержащим твердые частицы [2]. В качестве причин противоизносного действия наноразмерных твердых частиц рассматривается упорядочение структуры смазочного материала под воздействием собственного заряда наноразмерных частиц. Причиной возникновения заряда является несовершенство их строения, появляющееся на стадии получения частиц, либо в процессе эксплуатации трибосопряжения (триборазрушения).

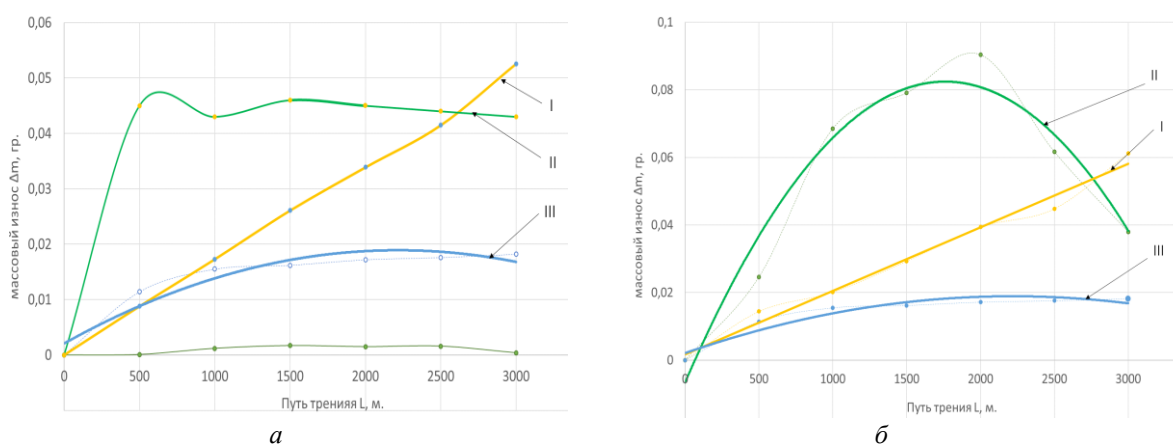


Рис. 2. Зависимость массового износа от пути трения при удельной нагрузке:
а – 3 МПа; б – 6 МПа;

I – Литол-24; II – Комплексная литиевая смазка + 1,0 мас. % ША-А;
III – Комплексная сульфат-кальциевая с добавками фторопласта и вязкостной присадкой

Анализ характера изменения коэффициента трения при различных нагрузках и смазочных материалах сопоставим с изменениями массового износа. В случае испытаний с контактным давлением 3 МПа (рисунок 3 а) максимальны коэффициент трения возникает при использовании базовой смазки. Литол-24 $f=0,08$. Значения коэффициентов трения комплексных смазок с твердыми частицами приблизительно одинаковы и лежат в интервале значений $f=0,04-0,06$, что в 1,3–2,0 раза ниже коэффициента трения базовой смазки. При увеличении нагрузки до 6 МПа характер изменения коэффициентов трения практически не изменяется, лишь на этапе приработки коэффициент трения литиевой смазки с УДАГ на 0,02 превышает коэффициент трения смазки с добавкой фторопласта, в то время как при контактном давлении 3 МПа наблюдалась обратная картина. Период приработки всех пластичных смазок сопровождается повышением коэффициентом трения, максимальная разница коэффициента трения на этапе приработки и этапе установившегося режима (в ~1,7 раза) характерна для смазки Литол-24, для комплексных смазок это значение значительно меньше ~1,3.

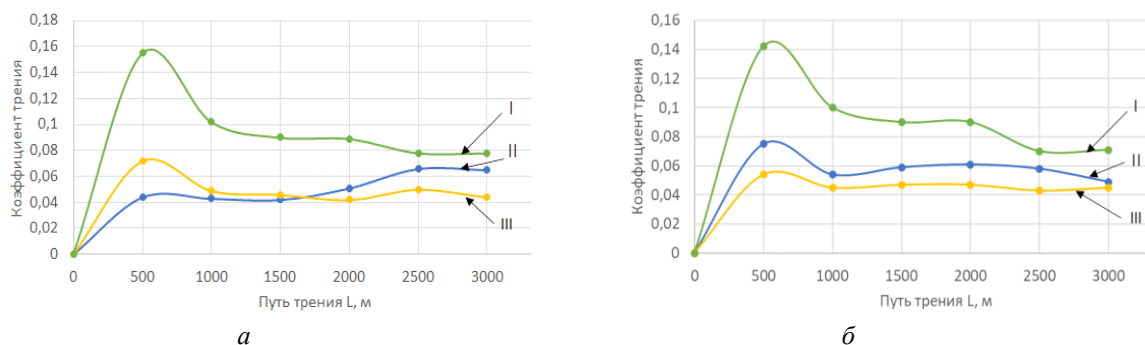


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от пути трения при удельной нагрузке:
 а – 3 Мпа; б – 6 Мпа;
 I – Литол-24; II – Комплексная литиевая смазка + 1,0 мас. % ША-А;
 III – Комплексная сульфат-кальциевая с добавками фторопласта и вязкостной присадкой

Увеличение номинальных давлений испытаний до 6 МПа приводит к увеличению массового износа образцов, работающих при одной и той же смазке (рисунок 4 а, б). Массовый износ при использовании комплексной сульфат-кальциевой смазки с добавками фторопласта и вязкостной присадкой на этапе приработки при увеличении удельной нагрузки с 1,5 до 6 МПа увеличился в 8 раз, а на этапе установившегося режима – в 5 раз. Испытания комплексной литиевой смазки +1,0 мас. % ША-А показали увеличения массового износа на первом этапе в 3 раза, на втором – в 2,5 раза.

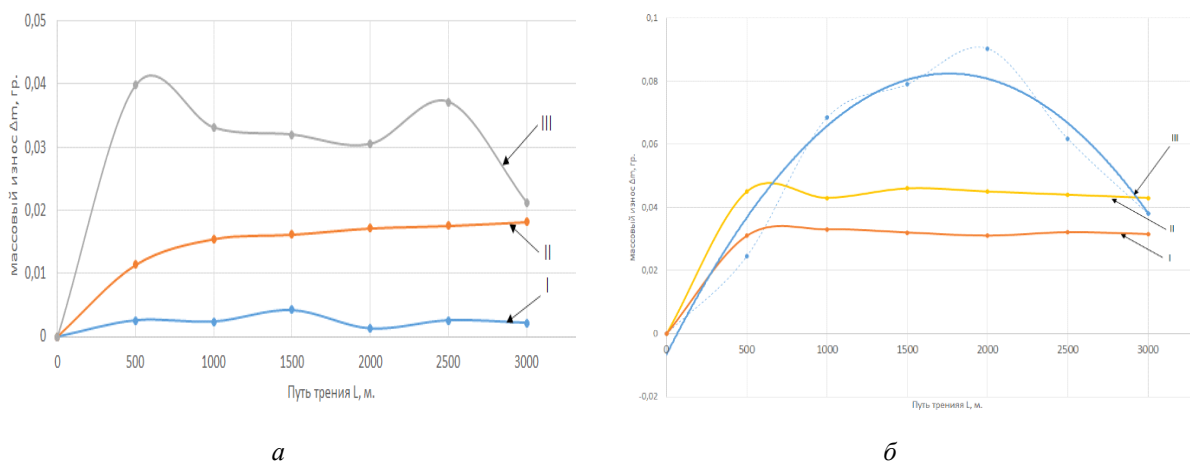


Рис. 4. Зависимость массового износа от давления:
 комплексная литиевая смазка + 1,0 мас. % ША-А
 и комплексная сульфат-кальциевая с добавками фторопласта и вязкостной присадкой;
 I – 1,5 МПа; II – 3 МПа; III – 6 МПа

Исследования влияния давления испытаний на режим приработки и триботехнические свойства фрикционной пары «бронза – сталь», проведенные при номинальном давлении испытаний равном 1,5; 3 и 6 МПа, показали, что максимальная износостойкость образцов на стадиях приработки и установившегося режима трения достигается при использовании комплексной сульфат-кальциевой смазки с добавками фторопласта и вязкостной присадкой. Одной из возможных причин указанного эффекта является формирование на поверхности бронзы разделительного слоя с повышенной нагрузочной

способностью и расширенным диапазоном рабочих температур. Использование комплексной литиевой смазки с шихтой УДАГ сокращает период приработки на всех указанных режимах и эффективна при удельной нагрузке, не превышающем 3 МПа.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было выявлено, что усовершенствование функциональных свойств пластичных смазок может быть достигнуто путем введением в их состав пакета нано- и микроразмерных добавок. Были смоделированы условия работы тяжело нагруженных деталей узлов трения скольжения трехосных грузовых автомобилей МАЗ (балансир), которые подтвердили, что износостойкость пар трения увеличивается, а период приработки снижается при использовании комплексных смазок. Также получены графические зависимости влияния удельной нагрузки испытаний на триботехнические свойства пары трения «бронза – сталь», показывающее, что максимальная износостойкость образцов на стадиях приработки и устоявшегося режима трения достигается при использовании комплексной сульфат-кальциевой смазки с добавками фторопласта и вязкостной присадки. Использование комплексной литиевой смазки с ультрадисперсной алмазографитовой шихтой сокращает период приработки на всех указанных режимах и эффективна при удельной нагрузке, не превышающей 3 МПа. Смазка Литол-24 обеспечивает износостойкость на уровне литиевой смазки с алмазографитовой шихтой, но при этом период приработки пары трения увеличивается до 3,5–4 раз.

Библиографические ссылки

1. *Леонтьев Л. Б., Леонтьев А. Л., Макаров В. Н.* Системный анализ технологии формирования износостойких покрытий на поверхностях трения деталей // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12 (ч. 4). С. 729–734.
2. *Витязь П. А. [и др.]* Модифицирование материалов покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками. Минск : Беларус. навука, 2011.
3. *Иванов В. П., Дудан А. В., Вигерина Т. В.* Триботехническое модифицирование поверхностей узлов трения в технике // *Актуальные проблемы развития экономики и управления в современных условиях : материалы IV междунар. науч.-практ. конф.*, Москва, 10 ноября 2021 г. М. : МЭИ, 2021. С 45–48.
4. *Витязь П. А. [и др.]* Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / под общ. реакцией П. А Витязя. Минск : Беларус. навука, 2013.