

05.1;11;12

©1995

ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНА C_{60} НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ СТАЛИ

*Б.М. Гинзбург, Д.Г. Точильников,
О.Ф. Киреевко, В.П. Булатов*

В литературе [1-3] указывается на значительное улучшение трибологических свойств смазочных материалов при введении в них молекулярно-дисперсных присадок жидкокристаллической (ЖК) природы: заметно расширяется интервал допустимых давлений на узел трения, уменьшаются коэффициент трения и износ трущихся материалов. По-видимому, квазицилиндрическая форма молекул исследованных ЖК веществ приводит к тому, что, сорбируясь вблизи поверхности контакта контртел и диффундируя в приповерхностные слои, они действуют как своеобразные молекулярные "катки", располагающиеся перпендикулярно направлению относительного скольжения контртел [4], и способствуют формированию износостойкой структуры приповерхностных слоев [5].

Диаметр молекул фуллерена C_{60} (ФЛ) — 0.714 нм [6], сопоставимый с диаметром цилиндрических ЖК молекул, квазисферическая симметрия молекул ФЛ (что приводит к отсутствию необходимости какой-либо особой ориентации молекул ФЛ относительно направления скольжения), а также высокая химическая активность ФЛ позволяли ожидать аналогичных эффектов при введении ФЛ в смазки. В литературе имеются весьма скудные сведения о смазочных свойствах ФЛ и его производных. В работе [7] сообщается, что при трении фторированного ФЛ в атмосферных условиях возможно образование плавиковой кислоты, и делается естественный вывод о невозможности его применения в качестве смазок или присадок к ним.

Основная задача данного исследования заключалась в первичной оценке влияния ФЛ на некоторые характеристики процессов трения, скольжения и изнашивания стали в условиях смазывания.

В качестве базовой смазки использовали промышленное масло И-40А. Введение ФЛ* в масло осуществляли

* Фуллереновую сажу получали в плазме электрической дуги в лаб. проф. Г.А. Дюжева. Из нее экстрагировали ФЛ и выделяли гомолог C_{60} (96-98%) в лаб. проф. В.П. Будтова.

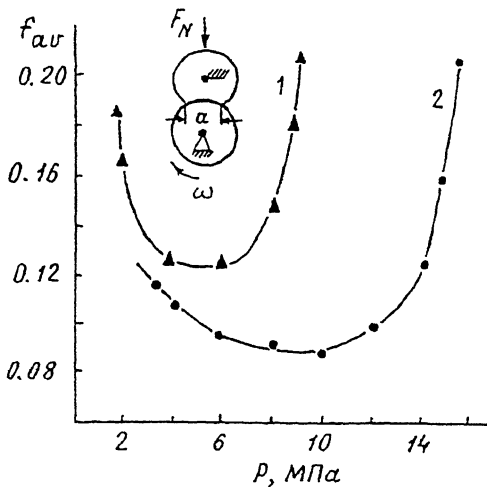


Рис. 1. Зависимость среднего коэффициента трения f_{av} от удельного давления при предварительной выработке канавки износа. Усреднение коэффициента трения проводилось за 300 с при однократном смазывании каплей смазки в начале испытания. 1 — индустриальное масло И-40А; 2 — то же масло с добавкой 5 масс. % C_{60} в виде порошка.

двумя способами: 1) раствор ФЛ в толуоле вводили в масло, после чего толуол выпаривали; 2) ФЛ вводили в масло в порошкообразном виде и механически перемешивали. В первом случае ФЛ находился в масле в молекулярно-диспергированном виде, т. е. более или менее равномерно в объеме смазочного материала, и его концентрация на поверхности трибоконтакта относительно невелика. Во втором случае ФЛ находился в масле в виде хлопьев, т. е. крайне неоднородно. Осаждаясь на поверхности трибоконтакта, хлопья создавали гораздо более высокую поверхностную концентрацию ФЛ, что, по-видимому, должно было предопределить более сильное влияние ФЛ на трибологические характеристики узла трения. Вводили от 0.5 до 5 масс. % ФЛ.

Экспрессная методика проведения трибологических испытаний описана ранее [3]. Методика базируется на испытаниях образцов в виде неподвижного цилиндра, контактирующего в исходном состоянии по линии с другим цилиндром, обладающим гораздо большей износостойкостью и вращающимся с постоянной скоростью. Неподвижный цилиндр (испытуемый образец) диаметром 50 мм был изготовлен из стали Ст-45, подвижный цилиндр диаметром 46 мм — из стали Ст-18Х2Н4МА. Частота вращения подвижного цилиндра

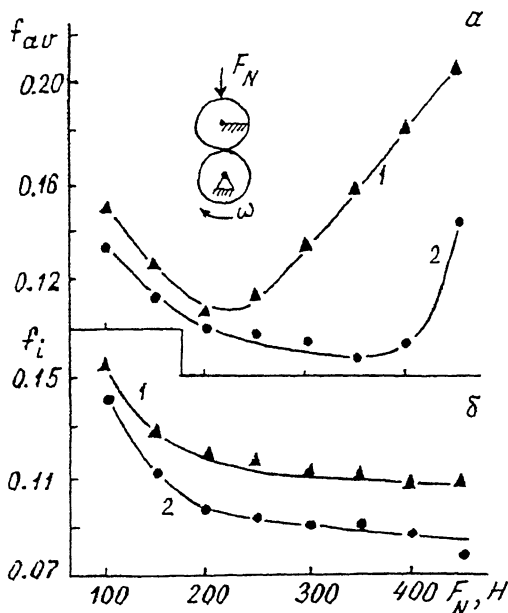


Рис. 2. Зависимости f_{av} (а) и f_i (б) от нагрузки на узел трения при начальном фрикционном контакте по линии. 1 — индустриальное масло И-40А; 2 — то же масло с добавкой 5 масс.% S_{60} в виде порошка.

дра 400 мин^{-1} , что соответствует скорости относительного скольжения цилиндров 1 м/с .

Из-за дефицитности и высокой стоимости ФЛ режим смазывания предусматривал нанесение перед началом каждого испытания только одной капли ($\approx 0.05 \text{ г}$) смазки на трущуюся поверхность образца. При этом определяли: начальный коэффициент трения f_i , характеризующий фрикционные свойства в условиях достаточного смазывания; средний коэффициент трения f_{av} за период 300 с (если за этот период не происходил задир) и продолжительность работы узла трения до момента резкого увеличения коэффициента трения, характеризующие противозадирные свойства смазочных материалов. Кроме того, определяли объемный износ и энергетическую интенсивность изнашивания I_e (имеющую смысл объемного износа при затрате единицы энергии).

По каждому сочетанию пар трения и образцов смазочных материалов проводилось от 2 до 6 испытаний. Погрешности приведенных показателей оцениваются в $\pm(10 - 20\%)$ при доверительном интервале σ . Испытания проводились на стандартной роликовой машине трения 2070-СМТ-1.

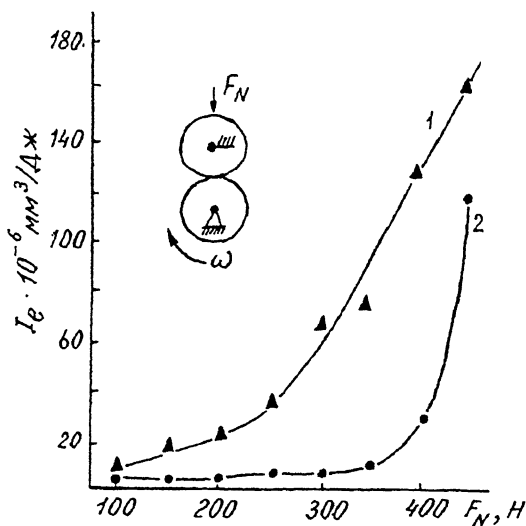


Рис. 3. Зависимости энергетической интенсивности изнашивания от нагрузки на узел трения. 1 — индустриальное масло И-40А; 2 — то же масло с добавкой 5 масс.% S_{60} в виде порошка.

Наибольшее улучшение антифрикционных, противоизносных и противозадирных показателей процесса трения было получено при механическом введении 5% порошка ФЛ в смазочное масло. В частности, при испытаниях на парах трения сталь-сталь наблюдалось: 1) улучшение антифрикционных свойств, выражающееся в расширении интервала допустимых давлений в 1.5–1.7 раза (рис. 1), уменьшении f_i на 10–20% (рис. 2, б), снижении работы сил трения в 1.5 раза, уменьшении I_e в 2–9 раз (рис. 3); 2) улучшение антизадирных свойств, проявляющееся в уменьшении f_{av} за испытание при смазывании одной каплей масла и в расширении интервала допустимых нагрузок при этих испытаниях (рис. 2, а), в увеличении нагрузок, при которых происходит резкое возрастание энергетической интенсивности изнашивания (рис. 3); 3) улучшение противоизносных свойств, проявляющееся примерно в 2-кратном снижении объемного износа в области средних нагрузок.

В условиях фреттинг-коррозии применение масел с ФЛ снизило износ контртел в парах трения сталь-сталь и сталь-латунь на 30–50%, а при нанесении ФЛ-покрытия на латунный образец и последующих испытаниях без смазки износ снизился более чем в 3 раза по сравнению с трением сухих образцов без покрытия.

Работа выполнена в рамках Российской научно-технической программы "Фуллерены и атомные кластеры", проект "Трибол".

Список литературы

- [1] Грибайло А.П. // Химия и технология топлив и масел. 1985. № 3. С. 23-25.
- [2] Иванов В.Е., Купчинов Б.И. // Трение и износ. 1988. Т. 9. № 2. С. 355-358.
- [3] Kozurev Yu.P., Ginzburg B.M., Priemskii N.D., Tochilnikov D.G., Bulatov V.P. // Wear. 1994. V. 171. P. 71-75.
- [4] Шепелевский А.А., Гинзбург Б.М. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 1. С. 76-79.
- [5] Киреевко О.Ф. // Трение и износ. 1993. Т. 14. № 1. С. 85-97.
- [6] Елецкий А.В., Смирнов Б.М. // Успехи физических наук. 1993. Т. 163. № 2. С. 33-60.
- [7] Taylor R., Avent A.G., Dennis T.J., Hare J.P., Kroto H.W., Walton D.R.M. // Nature. 1992. V. 355. N 6355. P. 27.

Институт проблем
машиноведения РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
2 августа 1995 г.
