

02;03;05;12

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ФУЛЛЕРЕНА C_{60}
(С ПРИВИТЫМИ К НЕМУ ЛУЧАМИ
НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИСТИРОЛА)
К СМАЗОЧНОМУ МАСЛУ НА ТРЕНИЕ
СКОЛЬЖЕНИЯ СТАЛИ ПО СТАЛИ**

© *Б.М.Гинзбург, В.Н.Згонник, Д.Г.Точильников,
О.Ф.Киреевко, Е.Ю.Меленевская,
Л.В.Виноградова, В.П.Булатов*

В литературе имеются сведения о положительном влиянии фуллеренов (ФЛ), а также модифицированных ФЛ в качестве антифрикционных присадок к смазочным материалам [1-6]. В предыдущей работе [7] нами было обнаружено антифрикционное действие добавок C_{60} к промышленному маслу при трении скольжения стали по стали.

В настоящей работе исследовались антифрикционные свойства добавок фуллерена C_{60} с привитыми к нему лучами низкомолекулярного полистирола (ПС) — с целью выявить, насколько полимерная составляющая влияет на антифрикционные свойства C_{60} .

Детали синтеза фуллерена с привитым ПС и методы его молекулярного анализа описаны ранее [8,9]. Продукт синтеза на ~ 85% состоял из C_{60} с привитым ПС, где к каждой молекуле C_{60} в среднем было привито по 6 лучей с молекулярной массой (ММ) 5000 каждого луча. Кроме того, продукт содержал ~ 15% несвязанного ПС и молекул ФЛ с одной привитой цепочкой ПС.

№ образца	Масло
1	Базовое масло И-40А без присадок
2	То же с 6% ПС с ММ = 5000
3	То же с 6% ПС с ММ = 20000
4	То же с 6% ПС с ММ = 30000
5	То же с 0.2% фуллерена C_{60} и привитыми к нему 6% ПС с ММ = 30000 (6 лучей с ММ = 5000 каждый)
6	То же с 18% линейного ПС с ММ = 30000
7	То же с 0.5% фуллерена C_{60} и привитыми к нему 18% ПС с ММ = 30000 (6 лучей с ММ = 5000 каждый)
8	То же с 0.5% фуллерена C_{60} и привитыми к нему 20% ПС с ММ = 30000 (6 лучей с ММ = 5000 каждый)
9	То же с 5% фуллерена C_{60} (исследовано в предыдущей работе [7])

Далее продукт (ФЛ-ПС) вводился в индустриальное масло И-40 А и проводились трибологические испытания при трении скольжения стали по стали. Для разделения влияния ФЛ и ПС составляющих полученные результаты сопоставляли с результатами, полученными при введении добавок аналогичных ПС без фуллеренов, а также с результатами, полученными ранее [7] для добавок чистого фуллерена C_{60} . В качестве добавок чистых ПС использовались образцы линейного ПС с ММ, равной массе одного луча (5000), суммарной ММ всех лучей (30 000) и промежуточной ММ = 20 000.

Образцы исследованных масел перечислены в таблице. Доли ФЛ и полимеров указаны по отношению к маслу. Все добавки из ФЛ-ПС и ПС вводились в масло в виде измельченного порошка и механически перемешивались. Частицы порошков набухали и частично растворялись в масле.

Для определения коэффициента трения f использовали роликовую машину трения 2070-СМТ-1. Пара трения с неконформными цилиндрическими контртелами состояла из неподвижного верхнего ролика из стали 45 и вращающегося с частотой 400 мин^{-1} нижнего ролика из износостойкой хромоникельмолибденовой стали (скорость относительного скольжения 1 м/с) [7]. На неподвижном ролике предварительно, в условиях смазывания, была сформирована и хорошо приработана канавка износа площадью $S = 25 \text{ мм}^2$, на которую перед началом каждого испытания наносилась од-

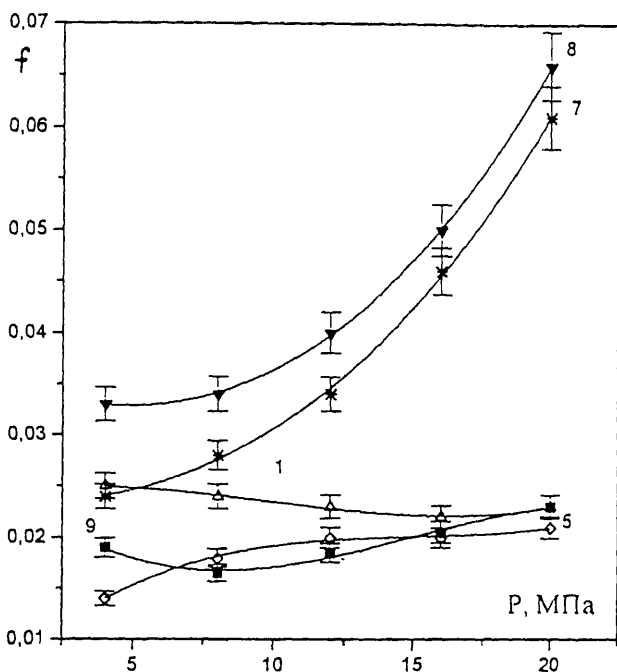


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f от удельного давления P на контакте для базового масла и масел с фуллеренсодержащими присадками. Номера кривых соответствуют номерам образцов масел, указанных в таблице.

на капля ($\sim 0.05\text{г}$) опытного образца масла. При каждом отдельном испытании узел трения последовательно нагружался нормальной нагрузкой, обеспечивающей получение во фрикционном контакте различных удельных давлений P . Продолжительность работы на каждой нагрузке составляла 200–300 с. По каждому образцу масла осуществлялось 5–8 испытаний. Через каждые 10–16 испытаний проводились контрольные испытания на базовом масле И-40А, а также контролировалась площадь фрикционного контакта. Значения f для каждого нагрузочного режима и образца масла определялись как среднеарифметические из всех испытаний для данного образца. Погрешность определения f составляла 5–10%.

Сравнение действия различных типов добавок к маслу проведем по трем параметрам: концентрации добавки, молекулярной массе ПС и наличию или отсутствию ФЛ в добавке при прочих равных условиях. На рис. 1 представлены результаты измерений f для базового масла и масел, содержащих ФЛ. Малые добавки ФЛ–ПС (около 6%) дают заметное улучшение антифрикционных свойств (кривая 5)

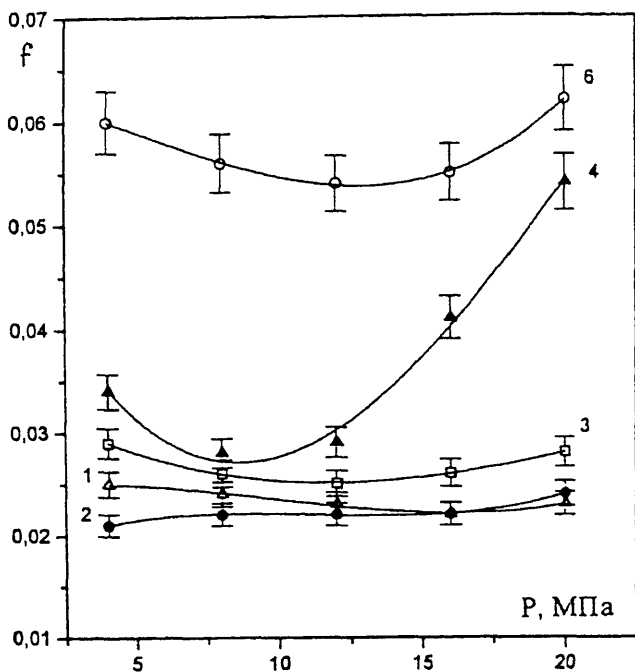


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения f от удельного давления P на контакте для базового масла и масел с полистирольными присадками. Номера кривых соответствуют номерам образцов масел, указанных в таблице.

по сравнению со свойствами базового масла (кривая 1), особенно в области малых нагрузок. Это улучшение даже сильнее, чем ранее полученный эффект влияния 5% чистого фуллерена C_{60} (кривая 9), несмотря на то, что в случае добавки ФЛ-ПС содержание фуллерена в масле уменьшено более чем на порядок. При увеличении концентрации той же добавки до 18–20% свойства масел значительно ухудшаются (кривые 7, 8). Это может быть связано с наблюдаемым даже визуально сильным увеличением вязкости масел.

На рис. 2 представлены результаты измерений для “бесфуллереновых” масел. Малые добавки (6%) чистых линейных ПС с $MM = 5000$ и 20000 несколько ухудшают характеристики масел (кривые 2, 3), но они все же остаются близки к характеристикам базового масла. Увеличение молекулярной массы линейного ПС до 30000 при той же концентрации резко ухудшает антифрикционные свойства масла (ср. кривые 3 и 4).

Рост концентрации ПС при постоянной MM (ср. кривые 4 и 6) еще более резко ухудшает свойства масла, чем рост концентрации ФЛ-ПС.

Таким образом, все исследованные образцы масел по своим антифрикционным свойствам можно условно разбить на три группы. К первой группе относятся образцы № 1-3, 5. Все они (кроме базового масла) содержат небольшое количество добавки и дают низкие коэффициенты трения (0.015-0.030) во всем диапазоне исследованных давлений.

Во второй группе имеется один образец (№ 6), содержащий высокую концентрацию добавки ПС с относительно высокой ММ = 30 000. Этот образец масла дает во всем диапазоне исследованных давлений высокие коэффициенты трения (0.55-0.60).

Наконец, имеется третья, промежуточная группа образцов масел (№ 4, 7, 8), дающая относительно небольшие значения f в области малых давлений и высокие значения f в области больших давлений. Масло № 4 содержит самый высокомолекулярный из исследованных линейных ПС, но за счет малой концентрации добавки дает не очень высокие значения f в области малых давлений. Масла № 7, 8 содержат высокие концентрации добавок при их высокой молекулярной массе, но малые значения f в области низких давлений достигаются за счет наличия в добавках фуллереновой составляющей.

Полученные результаты показывают, что фуллереновая составляющая, даже связанная ковалентной химической связью с полимером, тем не менее проявляется как положительный фактор в антифрикционных свойствах добавок к маслам. Однако чтобы получить абсолютное улучшение антифрикционных свойств базового масла добавки фуллерена с привитыми к нему цепями должны быть небольшими (единицы процентов), и также небольшими должны быть их молекулярные массы.

Малые добавки исследованного нами фуллерена C_{60} с шестью лучами привитого к нему ПС низкой молекулярной массы (5000) улучшают антифрикционные свойства индустриального масла В-40 А при трении скольжения стали по стали даже в несколько большей степени, чем чистый фуллерен.

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

Список литературы

- [1] Gupta B.K., Bhushan B. // Lubr. Engineering. 1994. V. 50. N 7. P. 524-528.
- [2] Shigematsu K., Abe K. // Patent. N 05-229966, JP. 25.02.92.
- [3] Higashihara H., Shigematsu K. // Patent. N 06-24720, JP. Manufacture of fluorinated fullerenes. 06.07.92.

- [4] *Shigematsu K., Abe K.* // Patent. N 05-117174, JP. Hydrogenated closed-structure fullerene and its preparation. 05.09.91.
- [5] *Taniguchi M., Tomioka Y., Kumegava N., Ishibashi M.* // Patent. N 05-179269, JP. Lubricants. 17.12.91.
- [6] *Patil A.O., Schriver G.W., Lundberg R.D.* // Patent. N 529244. US. Lube oil compositions containing fullerene-grafted polymers. 02.10.92.
- [7] *Гинзбург Б.М., Точильников Д.Г., Курвенко О.Ф., Булатов В.П.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 22. С. 62-66.
- [8] *Згонник В.Н., Меленевская Е.Ю., Литвинова Л.С., Кевер Е.Е., Виноградова Л.В., Терентьева И.В.* // Высокомолек. соед. Сер. А. 1996. Т. 38. № 2. С. 203-209.

Институт проблем
машиноведения РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
25 апреля 1996 г.
