

УДК 661.1,66:539.4

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. М. ХАРАЧ, Ю. Н. ВАСИЛЬЕВ, А. О. ШЕЙВЕХМАН, В. А. ФУГОЛЬ

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДсорбЦИИ НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ГРАФИТА

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 29 III 1973)

В последние годы в технике получили широкое распространение графитовые антифрикционные материалы. Исследование фрикционных характеристик графитовых щеток показало, что коэффициент трения возрастает с увеличением адсорбции на графите паров различных веществ при одновременном уменьшении переходного электрического сопротивления<sup>(1)</sup>. Рост коэффициента трения, по-видимому, можно объяснить увеличением площади фактического контакта вследствие уменьшения модуля упругости поверхностного слоя. Для проверки этого предположения было проведено исследование влияния адсорбции на площадь контакта стеклянной полусферы с плоскими образцами графитовых материалов — антифрикционного графита АГ-1500, материалов МПГ-6 и ВПП, полученных по электродной технологии при температуре 2500–2800°С, и графитопласта на основе искусственного графита и эпоксидной смолы, отвержденной полиалюмофенилсилоксаном, с нанесенными на их поверхность смазочными материалами: парфюмерное масло с противоизносной присадкой 5% осернированных тетрамеров пропилена (о.т.п.) и с противозадирной присадкой 4% хлорированного парафина (х.п.); вазелинового масла с присадкой поверхностно-активного вещества (п.а.в.) — стеариновой кислотой различной концентрации (от 0,1 до 5%). Адсорбаты наносились на поверхность графитовых образцов кисточкой, а избыток удалялся фильтровальной бумагой.

При внедрении жесткой стеклянной полусферы в плоскую поверхность образца с помощью микроскопа наблюдалось и измерялось изменение диаметра невосстановленного пятна контакта в зависимости от приложенной нагрузки. На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость куба радиуса  $a$  пятна контакта от нагрузки на индентор ( $R=106$  мм) для графита АГ-1500 и отвержденной эпоксидной смолы (до и после нанесения на их поверхность парфюмерного масла). Видно, что адсорбция масла значительно увеличивает диаметр пятна контакта (кривые 1 и 3).

Для приближенной нижней оценки снижения контактного модуля упругости вследствие адсорбции принималось, что графит является изотропным материалом. Тогда в соответствии с решением задачи Герца о внед-

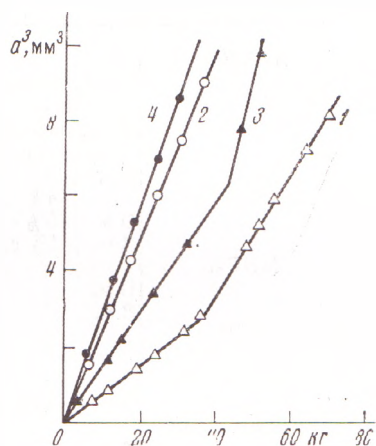


Рис. 1. Зависимость куба радиуса пятна контакта стеклянной полусферы с образцами под нагрузкой: 1 — АГ-1500, 2 — эпоксидная смола, 3 — АГ-1500 с парфюмерным маслом, 4 — эпоксидная смола с парфюмерным маслом

рении жесткой сферы в упругое полупространство (2)

$$E = \frac{3}{4} \frac{(1-\nu^2)}{a^3} NR,$$

где  $E$  — модуль упругости графита,  $\nu$  — коэффициент Пуассона,  $N$  — нагрузка в кг,  $R$  — радиус индентора и  $a$  — радиус пятна контакта в мм.

Начальные точки графика хорошо ложатся на прямую линию, по углу наклона которой определяется эффективный модуль упругости; на кривых 1 и 3 при дальнейшем повышении нагрузки имеется точка перегиба. По нашему мнению, эта точка может характеризовать переход от упругого контакта к разрушению деформированной зоны поверхности.

Опыты, проведенные на образцах без нанесения на их поверхность масел, дали результаты, практически совпадающие с объемными показателями.

Увеличение пятна контакта при смазке маслами графитов принципиально возможно также вследствие снижения коэффициента трения пары стекло — графит. Для оценки возможности такого влияния были проведены эксперименты с линзой, радиус которой был в 3 раза меньше исходной.

Таблица 1

Материал	Адсорбат	Контактный модуль упругости, кг/мм <sup>2</sup>		Объемный модуль упругости, кг/мм <sup>2</sup>
		$R = 34 \text{ мм}$	$R = 106 \text{ мм}$	
АГ-1500	Вазелиновое масло (в.м.)	900±100	900±50	980±50
		380±30	410±30	980±50
	Парфюмерное масло (п.м.)	350±50	430±50	—
	П.м. + 5% ОТП	300±50	—	—
	П.м. + 4% ХП	300±50	—	—
	П.м. + 5% с.к.	300±50	—	—
МПГ-6	В.м. + 1% с.к.	300±50	430±50	—
		750±50	750±50	770±10
	П.м.		490±30	770±10
ВПП	В.м.	—	600±100	—
			750±40	700±50
	П.м.	—	300±50	—
Графитопласт	В.м.	—	270±30	—
	В.м. + 0,1% с.к.	—	270±30	—
		850±50	900±10	800±50
Эпоксидная смола	П.м.	500±50	500±30	—
		300±30	280±30	—
	П.м.	280±40	250±10	—

Оказалось, что значения контактного модуля упругости, найденные при линзе меньшего радиуса, практически совпадают со значениями, найденными ранее. Кроме того, на отвержденной эпоксидной смоле, коэффициент трения которой по стеклу намного выше, чем графита по стеклу, влияние смазки практически отсутствует (см. табл. 1). Описанное позволяет сделать вывод, что увеличение пятна контакта при нанесении на поверхность образцов масел не было связано с уменьшением коэффициента трения пары трения стекло — графит. В приводимой таблице представлены полученные расчетные значения эффективного модуля упругости испытанных материалов в условиях сжатия. Для проверки возможного влияния адсорбции на объемный модуль упругости были изготовлены образцы из графита марки АГ-1500 и МПГ-6 размером 100×40×3 мм, которые были пропитаны вазелиновым маслом в автоклаве.

При испытании образцов на растяжение влияние адсорбции не обнаружено.

Влияние добавок стеариновой кислоты (с.к.), хлорированных парафинов (х.п.) и осерненных тетрамеров (о.т.п.) сказалось только в пределах разброса, вызванного неоднородностью материала и ошибкой измерений. Пропитка вазелиновым маслом испытанных образцов не изменила ни объемной прочности, ни объемного модуля упругости.

Поскольку, как показали многочисленные исследования, графитированные (обработанные при 2800°) материалы в маслах не набухают, учитывая отсутствие заметного влияния поверхностно-активных веществ на материал, можно предположить, что наблюдаемый эффект связан со снижением адгезионного воздействия стенок микротрещин вследствие адсорбции. Однако для однозначного объяснения наблюдаемого эффекта необходимо в дальнейшем исследовать влияние на модуль упругости времени контакта со средой и оценить величину снижения поверхностной энергии.

Авторы благодарят И. В. Крагельского за обсуждение результатов и ценные советы.

Поступило  
22 III 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Р. Хольм, Электрические контакты, ИЛ, 1961,    <sup>2</sup> Н. И. Безухов, Основы теории упругости, пластичности и ползучести, М., 1961.