

Г. В. ВИНОГРАДОВ, С. С. КАРАПЕТЯН, В. С. ОСЬКИН
А. Н. ПОНОМАРЕВ, А. А. СИЛИН

О ТРЕНИИ ПОЛИМЕРОВ В СВЕРХГЛУБОКОМ ВАКУУМЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 10° К

(Представлено академиком А. Ю. Ишлинским 2 IV 1971)

Известно, что удаление сорбционных пленок с поверхности металлов сопровождается значительным повышением сопротивления их относительному перемещению. При контакте металлов в глубоком вакууме под давлением происходит сильное схватывание их поверхностных слоев. Однако информация о трении металлов по полимерам в вакууме весьма ограничена. Применительно к проблеме трения полимеров есть и другая сторона, связанная с влиянием температуры на этот процесс. Интенсивность теплового движения в макромолекулярных цепях и у боковых групп изменяется в очень широком диапазоне температур так, что некоторые виды молекулярных движений затухают только при температурах близких к 0° К. Это влияет на адгезионную характеристику полимеров и на соотношение адгезионной составляющей и объемного деформирования при оценке силы трения.

Адгезионное взаимодействие полимеров с металлами при трении следует определять двумя факторами — температурой и наличием адсорбционных слоев на контактирующих поверхностях. Что касается последнего фактора, то при низких температурах необходимо учитывать конденсацию паров на поверхностях трения. В опы-

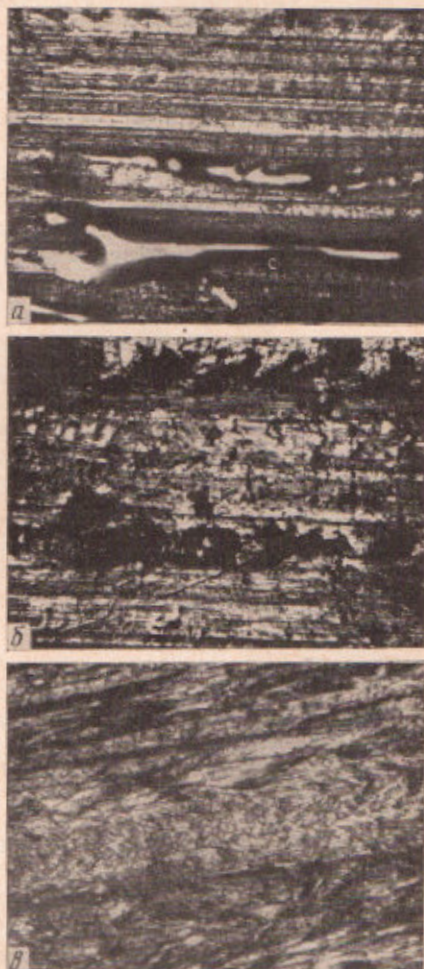


Рис. 1. Дорожки трения сильно охлажденных полимеров после трения в сверхвысоком вакууме: а — полиэтилен, $T = 77^\circ \text{К}$, $p = 2 \cdot 10^{-8}$ тор; б — полистирол, $T = 77^\circ$, $p = 2 \cdot 10^{-8}$ тор; в — политетрафторэтилен, $T = 10^\circ$, $p = 2 \cdot 10^{-10}$ тор, $200\times$

тах при низких температурах, чтобы получить правильную качественную информацию о влиянии адгезионной составляющей на трение в широком интервале температур, включающем глубокое охлаждение, необходимо использование глубокого вакуума.

Для исследования устоявшегося процесса трения полимеров по металлам в сверхглубоком вакууме при температурах от 300 до 10° К использовалась установка ТНТ (1). Образцы полимеров вытачивались из блоков в форме тонких колец, имевших наружный диаметр 42, высоту 8 и толщину 2,5 мм. Набор колец полимеров насаживался на неподвижный полый патрубок, который мог охлаждаться изнутри жидким азотом или гелием. Внутренний размер образцов предварительно подгонялся к патрубку таким образом, что обеспечивалось полное прилегание образцов к патрубку при низких температурах, что необходимо для их эффективного охлаждения. У каждого образца на поверхности вблизи дорожки трения располагался спай термопары.

Трение осуществлялось при скорости скольжения 1 см/сек путем последовательного прижатия к каждому образцу радиально расположенных сферических инденторов из цинка, так что каждый из образцов находился в контакте только с определенным индентором. Инденторы имели радиус 2,5 мм, нагрузка на них могла составлять до 200 Г. Вал с образцами мог центроваться относительно инденторов при помощи специальных штифтов, что обеспечивало постоянство нагрузки при вращении инденторов вокруг образцов.

Благодаря использованию сорбционного, электроразрядного и геттеропомпного насосов, а также криогенной откачки экранами, охлаждаемыми жидким гелием и азотом, трение осуществлялось при остаточных давлениях $5 \cdot 10^{-8}$ — 10^{-10} тор. Измерение нагрузки и силы трения производилось бесконтактным способом при помощи тензометрической системы сигналы с которых передавались на регистрирующие бесконтактным способом через трансформаторные токосъемники.

Приработка поверхностей трения осуществлялась в течение 20 мин. при комнатной температуре, остаточном давлении $5 \cdot 10^{-8}$ тор, скорости скольжения 1 см/сек и нагрузке 150 Г на каждый индентор. После этого образцы разгружались, задавался глубокий вакуум и производилось измерение силы трения при различных нагрузках и температуре 300°. Затем рабочий узел охлаждался жидким азотом до 77° и при остаточном давлении $2 \cdot 10^{-8}$ тор снова производились измерения силы трения. Цикл испытаний завершался опытом при температуре 10—12° и остаточном давлении $2 \cdot 10^{-10}$ тор. Каждый цикл опытов повторялся несколько раз. Воспроизводимость замеров силы трения была не ниже 80%.

Опыты проводились с образцами линейного полиэтилена, изотактического полипропилена, полистирола и политетрафторэтилена. Основные результаты (коэффициенты трения) оказались следующими:

Температура, °К Остаточное давление, 10^{-7} тор Нагрузка, Г	300 $2-2 \cdot 10^{-1}$		77 $2 \cdot 10^{-1}$		16-12 $2 \cdot 10^{-2}$	
	40	190	40	190	40	190
Политетрафторэтилен	0,08	0,09	0,11—0,13	0,12—0,15	0,10—0,16	0,10—0,20
Полиэтилен	0,13	0,20	0,18—0,23	0,26—0,29	0,20—0,28	0,27—0,37
Полипропилен	0,25	0,37	0,27—0,33	0,42—0,48	0,36—0,44	0,50—0,58
Полистирол	0,20	0,38	0,31—0,39	0,41—0,49	0,47—0,59	0,56—0,70

Для всех исследованных полимеров наблюдается одна и та же закономерность: более или менее значительное повышение трения при понижении температуры от комнатной до гелиевых температур. Особенно значительно увеличение силы трения в опытах с полистиролом. Важной особенностью, отмеченной у всех полимеров, является то, что плавное скольжение, наблюдаемое при комнатной температуре, после перехода к испытаниям в вакууме при низких температурах становится прерывистым. Это особенно резко выражено у полистирола. Повышение трения сопровождается повреждением поверхностей. На рис. 1 отчетливо видны следы вырывания на поверхностях полистирола и полиэтилена. То же, но в более слабой степени проявляется в случае политетрафторэтилена. Сопоставле-

ние результатов опытов при переходе от комнатной температуры к 77° при остаточных давлениях порядка 10^{-7} — 10^{-8} тор показывает, что определяющее значение в отношении повышения трения имеет охлаждение образцов. Остаточное давление порядка 10^{-10} тор невозможно было реализовать при комнатной температуре. Однако можно предполагать, что определяющее значение и при указанном давлении имеет низкая температура контактирующих поверхностей.

Можно высказать следующее предположение о причине значительного повышения трения при понижении температуры. Известно (²⁻⁴), что при трении полимеров относительно металлов происходит ориентация микромолекул и кристаллитов в направлении скольжения, в результате чего сила трения снижается. Ориентационный эффект имеет важное значение и в тех случаях, когда при трении происходит непрерывное повреждение поверхностного слоя и перенос полимера на поверхность контртела. При низких температурах подвижность микромолекулярных цепей и надмолекулярных образований существенно понижена, что затрудняет проявление ориентационного эффекта и таким образом повышает трение и облегчает перенос полимера на контртелo.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
оптико-физических измерений

Институт химической физики
Академии наук СССР

Институт нефтехимического синтеза
Академии наук СССР
Москва

Поступило
31 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. С. Каранетян и др., ДАН, 192, № 5, 1022 (1970). ² Ф. Боуден, Д. Тейбор, Трение и смазка твердых тел, М., 1968. ³ Г. В. Виноградов и др., ДАН, 180, № 3, 582 (1968). ⁴ В. А. Мустафаев, Ю. Я. Подольский, Г. В. Виноградов, Механика полимеров, 5, 95 (1965).