

**ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОСТИ НА ФРИКЦИОННЫЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ БИСФЕНОЛА-А  
В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ**

***Квачева Л. А.***

Существует мнение, что внешнее трение полимеров подобно внутреннему и необъяснимо без рассмотрения молекулярной структуры материала [1]. Имеются работы, в которых рассматривается влияние молекулярно-кинетических процессов на поведение силы и коэффициента внешнего трения полимеров  $\mu$  [2, 3]. С научной и практической точек зрения весьма актуальной задачей является исследование корреляции между механическими потерями и коэффициентом внешнего трения в низкотемпературной области, где наблюдаются релаксационные процессы.

Для этой цели была предпринята попытка сопоставить результаты наших исследований по изучению молекулярной подвижности с поведением коэффициента внешнего трения скольжения полимеров на основе бисфенола-А в зоне проявления низкотемпературных мультиплетных релаксационных процессов.

О возникновении молекулярной подвижности судили по появлению максимумов на зависимости  $\operatorname{tg} \delta = f(T)$ . Тангенс угла механических потерь измеряли методом вынужденных резонансных колебаний консолью закрепленного образца на низкочастотной акустической установке [4] на частоте  $\sim 200$  Гц в интервале температур  $150 - 300$  К. Точность термостатирования составляла  $\pm 0,5^\circ$ . Относительная ошибка в определении  $\operatorname{tg} \delta$  не превышала 5 %. Для сопоставления использовали результаты по внешнему трению скольжения, полученные при удельном давлении  $9,8 \cdot 10^5$  Па и скорости скольжения  $10^{-3}$  м/с [2]. При данных скорости скольжения и удельном давлении время процесса достаточно для образования возможных адгезионных соединений, и сопротивление перемещению определяется только нарушением этих связей. Изменение температуры поверхности при трении не превышало  $1 - 3^\circ$ .

Исследовали два полимера на основе бисфенола-А (поликарбонат (ПК) [2], эпоксидная смола ЭД-5 [4]), а также ПК, наполненный политетрафторэтиленом (ПТФЭ) [2].

Наблюдаемая аналогия между мультиплетными релаксационными максимумами ЭД-5 и дуплетным максимумом коэффициента трения скольжения (рис. 1) свидетельствует о зависимости между максимумами  $\operatorname{tg} \delta$  и  $\mu$ . Оказалось, что высота максимума  $\operatorname{tg} \delta(H_{\operatorname{tg} \delta \text{ макс}})$  определяющим образом влияет на высоту максимума  $\mu(H_{\mu \text{ макс}})$  (рис. 2), что хорошо видно на примере композиций ПК и ПТФЭ.

Можно аналитически описать величину отклонения коэффициента внешнего трения скольжения от стабильного значения по величине максимума механических потерь, ответственного за тот или иной тип молекулярного движения. Корреляционная зависимость высоты максимума  $\operatorname{tg} \delta$  от величины максимума коэффициента внешнего трения скольжения может быть описана следующим эмпирическим уравнением:

$$H_{\mu \text{ макс}} = \frac{1}{a} (e^{z H_{\operatorname{tg} \delta \text{ макс}}} - 1),$$

где  $z$  – коэффициент, зависящий от структурных особенностей, энергии активации, типа и природы релаксационных процессов в аморфных полимерах на основе бисфенола-А;  $a$  – коэффициент, зависящий от условий эксперимента, частоты, скорости, нагрузки. Если, согласно уравнению,  $H_{\operatorname{tg} \delta \text{ макс}} = 0$ , величина максимума коэффициента трения также будет равна нулю. Чем выше скорость скольжения или величина удельного давления на образец, тем должна быть меньше высота максимума  $\mu$ , что наблюдали при экспериментальных измерениях полимеров. Для релаксационных

процессов, обусловленных колебаниями фенильных, эпоксидных и небольших кинетических элементов макромолекулярных цепей полимеров на основе бисфенола-А, коэффициент  $z$  оказался равным  $1,6 \cdot 10^2$ . Коэффициент  $a$  для частоты 200 Гц, скорости скольжения  $10^{-3}$  м/с и удельного давления  $9,8 \cdot 10^5$  Па оказался равным  $0,7 \cdot 10^4$ .

Таким образом, одной из основных причин появления максимумов в низкотемпературной области на зависимости коэффициента трения скольжения полимеров на основе бисфенола-А является размброживание в них молекулярной подвижности. По-видимому, природа их появления анало-

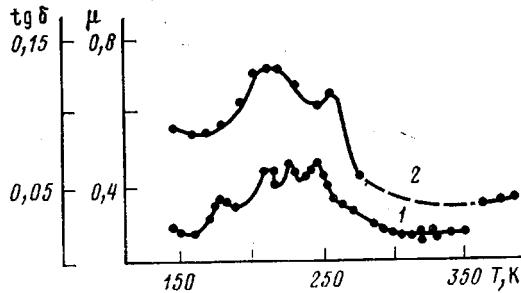


Рис. 1

Рис. 1. Температурные зависимости тангенса угла механических потерь  $\text{tg } \delta$  (1) и коэффициента трения скольжения  $\mu$  (2) эпоксидной смолы ЭД-5 (кривая  $\mu$  получена А. П. Макушкиным)

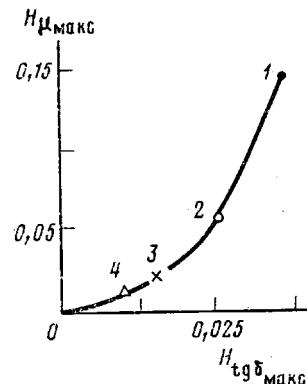


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость высоты максимума коэффициента трения скольжения ( $H_{\mu_{\max}}$ ) от высоты максимума механических потерь ( $H_{\text{tg } \delta_{\max}}$ ) для ПК (1) и ПК, содержащего 8 (2), 20 (3) и 40% ПТФЭ (4)

гична природе появления максимумов на температурной зависимости  $\text{tg } \delta$ . Только в случае трения скольжения произведение времени релаксации кинетической единицы  $\tau$  на время ее «соседней жизни» при адгезионном контакте  $n$  должно подчиняться условию:  $\tau n = 1$ . В этом случае может наблюдаться максимум на зависимости  $\mu = f(T)$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бууден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение, 1968, с. 238.
2. Квачева Л. А., Перепечко И. И., Савина М. Е., Пружинер А. Б., Шебеко М. П., Макушкин А. П. О связи акустических и фрикционных свойств полимерных материалов. — Высокомолек. соед. Б, 1975, т. 17, № 6, с. 451.
3. Бартенев Г. М., Елькин А. И., Николаев В. Н. Фрикционные свойства полиметилметакрилата в различных физических состояниях. — Высокомолек. соед. А, 1968, т. 10, № 4, с. 808.
4. Перепечко И. И. Акустические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1973, с. 65.

Поступила в редакцию  
28.IV.1980

УДК 541.64:532.135

#### ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ВОЛОКНООБРАЗОВАНИЕ В ИХ СМЕСЯХ

*Красникова Н. П., Древаль В. Е., Котова Е. В.,  
Пельцбауэр З.*

При продавливании расплава высокодисперсной смеси двух полимеров через фильтры (капилляры) или узкие щели полимер-дисперсная фаза может образовывать в полимере-матрице ультратонкие волокна [1, 2];