

УДК 678.01:531.43

И.В. Шевеля

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРИБОСИСТЕМАХ

Проведены исследования взаимосвязи механических потерь и коэффициента внешнего трения полимеров в зависимости от температуры. Показано, что механические потери являются одним из ведущих факторов, определяющих вид температурной зависимости коэффициента трения полимеров (температурное расположение и интенсивность максимумов коэффициента трения).

В современных конструкциях и узлах трения видное место занимают сочетания металлических и полимерных материалов.

Полимеры являются материалами с ярко выраженными вязкоупругими свойствами. По сравнению с другими материалами, например, металлами, для полимеров характерна более резко выраженная зависимость механических свойств от температуры. Эта зависимость обусловлена сочетанием в полимерах деформационных свойств вязкой жидкости и чисто упругого твердого тела. Такая двойственная природа полимеров предопределяет тесную общность механизмов их внешнего трения с природой внутреннего трения (неупругостью). Хотя релаксационные процессы и другие проявления вязкоупругих свойств полимеров изучены достаточно хорошо, большинство работ по внешнему трению не ориентировано на эти данные.

Важной характеристикой деформационных свойств полимеров являются механические потери, поскольку они чувствительны ко всем типам релаксационных процессов и температурных переходов. Механические потери (их абсолютные величины, температурные и частотные положения экстремумов) представляют особый интерес не только для понимания механизмов молекулярного движения в полимерах, но и во многом определяют такие их характеристики как долговечность, удельную поверхностную энергию разрушения и ударную вязкость, коэффициент трения и изнашивание [1, 2].

Автором приводятся результаты исследования механических потерь полимеров в связи с их внешним трением и действием температурного фактора. Учитывая, что внешнее трение является процессом диссипации механической энергии, связанным с неупругими явлениями в зонах контакта твердых тел, углубление знаний в этой области имеет принципиальное значение для понимания механизмов внешнего трения, обоснованного выбора материалов и способов управления свойствами приповерхностных слоев при их контактном взаимодействии.

Для проведения экспериментов использовали базовые марки полимеров, характеризующиеся различным химическим строением, степенью кристалличности и механическими свойствами [3].

Температурные зависимости механических потерь и коэффициентов трения измерены на разработанной нами установке и по методике, описанными ранее [4].

Механические потери оценивали по величине логарифмического декремента затухания Δ , который определяли контактным методом при давлении на индентор 1,0 МПа и амплитуде возбуждения 0,015 мкм, соответствующей области амплитудно-независимого внутреннего трения.

Внешнее трение осуществлялось по схеме контакта «плоскость (полимер) – торец цилиндра (металлический индентор)» при скорости скольжения $6 \cdot 10^{-3}$ м/с и удельной нагрузке 1,0 МПа при температуре 20°C – 0,8 Т пл.

На рис. 1 показаны температурные зависимости декремента затухания для полиамидов ПА 12, ПА 610, ПА 6 и ПА 66.

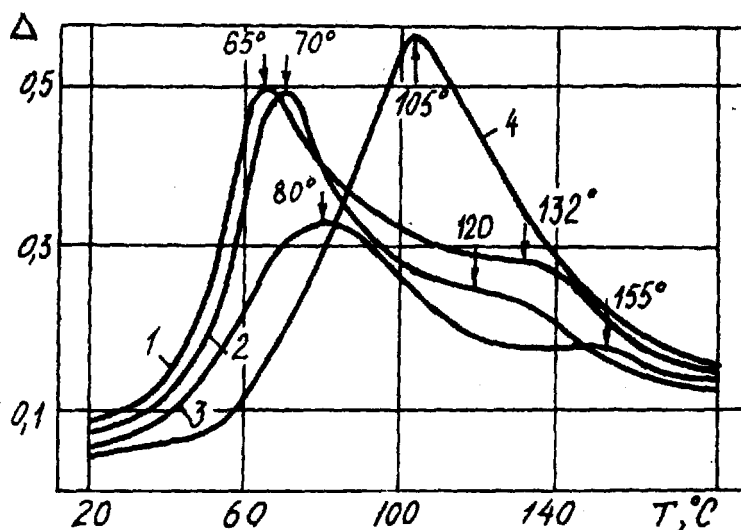


Рис. 1. Температурные зависимости декремента затухания Δ для полиамидов: 1 - ПА 610, 2 - ПА 6, 3 - ПА 12, 4 - ПА 66

Полиамиды относятся к категории инженерных полимеров, которые в широком диапазоне температур обладают высокими прочностью, антифрикционностью и износостойкостью [5]. Молекулярная масса полиамидов 10 – 40 тыс., плотность $1010 - 1130 \text{ кг/м}^3$, степень кристалличности 40 – 70% и температура плавления $180 - 260^\circ\text{C}$.

На кривых $\Delta(T)$ имеются интенсивные максимумы, расположенные при температурах механического стеклования 65°C (ПА 610), 70°C (ПА 6), 80°C (ПА 12) и 105°C (ПА 66). Эти пики обусловлены микроброуновским сегментальным движением, носят релаксационный характер (α - релаксация) и соответствуют стеклованию аморфных областей. Кроме того на высокотемпературных ветвях пиков имеются слабые максимумы, отвечающие температурам 132, 120, 155 и 210°C . Слабо выраженные пики у ПА 610 ($T_g = 120^\circ\text{C}$) и у ПА 6 ($T_g = 132^\circ\text{C}$) обусловлены, очевидно, молекулярной подвижностью в кристаллических областях. Пики у ПА 12 ($T_{\alpha'} = 155^\circ\text{C}$) и у ПА 66 ($T_{\alpha'} = 210^\circ\text{C}$) относятся к термодинамическим фазовым переходам нерелаксационного типа и связаны с плавлением кристаллитов.

К классу антифрикционных износостойких полимеров относятся также полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и близкий к нему по химической структуре и свойствам политбутилентерефталат (ПБТФ). И тот и другой имеют молекулярную массу 15 – 40 тыс., плотность $1380 - 1400 \text{ кг/м}^3$, степень кристалличности до 50% и температуру плавления 265°C .

В зависимости от температуры отжига ПЭТФ может быть получен в аморфном и закристаллизованном состояниях в широком интервале степеней кристалличности.

Исследование механических потерь в зависимости от степени кристалличности показывает (рис.2), что в аморфном (неотожженном) состоянии у ПЭТФ имеется мощный высокотемпературный пик, связанный с α - переходом. Он располагается в области температур $80 - 85^\circ\text{C}$. Ввиду большого затухания энергии колебаний удалось наблюдать лишь низкотемпературную ветвь пика.

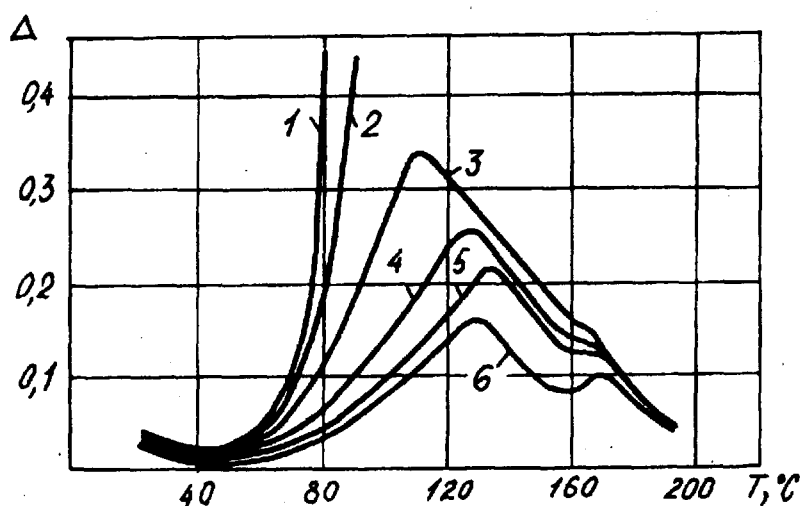


Рис.2. Температурные зависимости Δ для ПЭТФ при степени кристалличности (%) и температуре отжига:
 1 – 0 (без отжига); 2 – 13 (90°C); 3 – 39 (120°C); 4 – 41 (130°C); 5 – 43 (140°C);
 6 – 50 (160°C)

В ПЭТФ, закристаллизованном при 130 - 160°C, наблюдается два пика: пик, соответствующий стеклованию, и дополнительный пик при $T = 165^{\circ}\text{C}$.

С увеличением степени кристалличности (повышением температуры отжига) высота α -пика убывает. Это является свидетельством того, что данный релаксационный максимум обусловлен сегментальной подвижностью в аморфных областях полимера. С повышением степени кристалличности максимум смещается в сторону более высоких температур.

Интенсивность дополнительного пика с увеличением степени кристалличности возрастает, в связи с чем можно полагать, что он обусловлен процессами, происходящими в кристаллических областях (процесс α' -релаксации) [6].

В дополнение к приведенным данным на рис.3 проиллюстрированы температурные зависимости механических потерь для ряда других аморфных и кристаллических полимеров. Структурные механизмы температурных переходов нами анализируются, так как близки к ранее описанным, а также рассмотрены в работах [6, 7, 8].

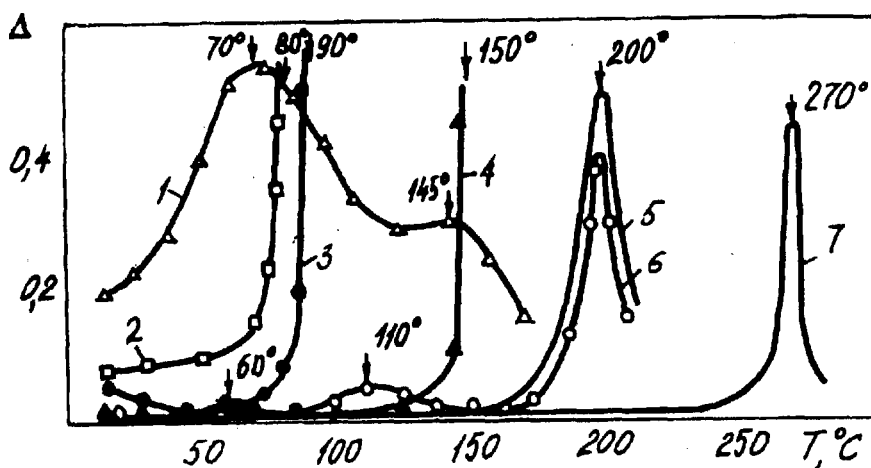


Рис.3. Температурные зависимости Δ для полимеров:
 1 – пентопласт; 2 – полистирол; 3 – ПХВ; 4 – поликарбонат;
 5 – полисульфон; 6 – полиакрилат; 7 – фенилон

На рис. 4 и 5 показаны температурные зависимости коэффициента трения полимеров, а в таблице и на рис.6. приведены обобщенные данные по температурным переходам для механических потерь и коэффициентов трения.

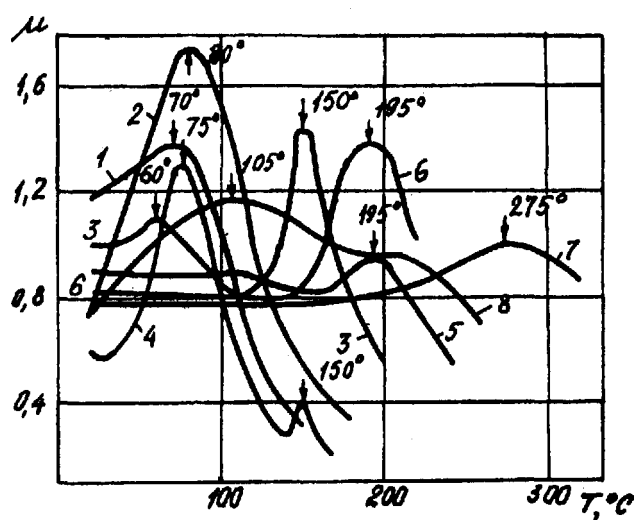


Рис.4. Температурные зависимости коэффициента трения μ полимеров:

1 – ПВХ; 2 – полистирол; 3 – поликарбонат; 4 – пентопласт;
5 – полиарилат; 6 – полисульфон; 7 – фенилон; 8 – ПА 66

Температурные переходы в полимерах

Полимер	Степень кристалличности	Температура α' - пика, °С	Температура вторичных переходов, °С	Температура максимумов коэффициента трения, °С
ПА 610	40 - 70	65	132	60 - 65, 130 - 135
ПА 6	- «-	70	120	70 - 75, 130
ПА 12	- «-	80	155	80, 150
ПА 66	- «-	105	210	105, 210
ПЭТФ	0	80 - 85	-	80, 165
	13	90 - 95	-	90, 165
	39	110	-	110, 165
	41	125	165	125, 165
	43	135	165	135, 165
	50	130	165	-
Полисульфон	0	200	-	195
Фенилон		270	-	275
Пентопласт		70	145	75, 150
ПВХ	0 - 10	70 - 90	-	70
Полиарилат	0	200	110	195, 100 - 110
Поликарбонат	0	140 - 150	60	150, 60
Полистирол		80	-	80

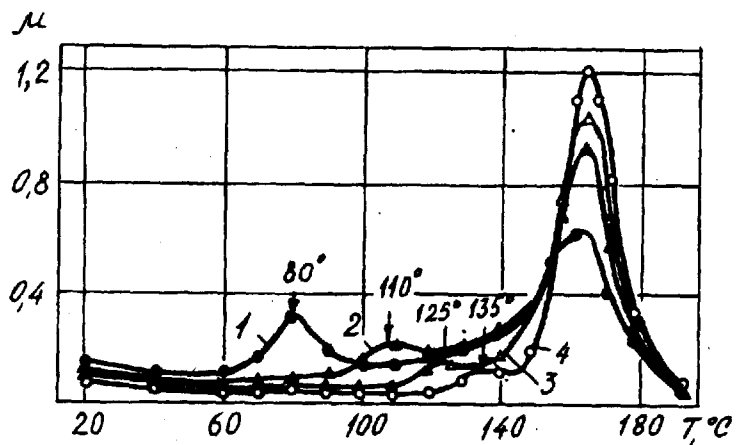


Рис. 5. Температурные зависимости коэффициента трения ПЭТФ при степени кристалличности (%):
 1 – 0; 2 – 39; 3 – 41; 4 – 43

Как видно из рис.6, соотношение между температурами максимумов коэффициента трения T_{μ}^{max} и температурами максимумов механических потерь T_{Δ}^{max} укладывается на линейную зависимость. Эта зависимость соблюдается в широком диапазоне температур максимумов ($35 - 270^{\circ}C$) как для процессов α - релаксации, так и для вторичных переходов (в том числе переходов нерелаксационного типа) и справедлива для широкого круга полимеров с различной степенью кристалличности.

Сопоставление данных по величинам механических потерь и коэффициентов трения для ПЭТФ в зависимости от степени кристалличности (см. рис.2 и рис.5) показывает, что имеется также качественная корреляция между интенсивностью Δ и μ в областях температурных переходов различного типа.

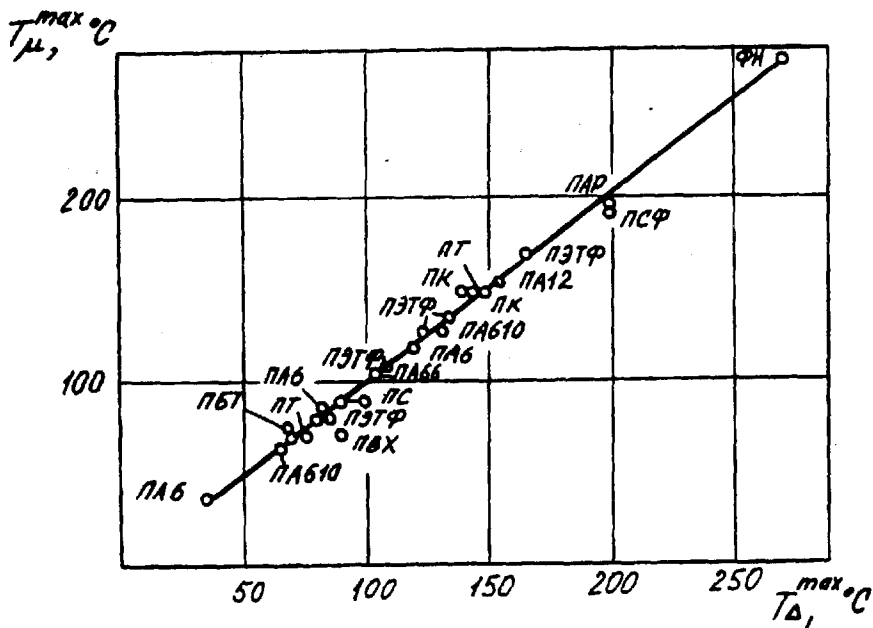


Рис. 6. Соотношение между температурами максимумов коэффициентов трения T_{μ}^{max} и температурами максимумов механических потерь T_{Δ}^{max} :
 (0 - α - релаксация, α_0 - вторичные переходы)

Таким образом, рассмотренные экспериментальные результаты показывают, что механические потери при трении полимеров являются одним из ведущих факторов, определяющих вид зависимости μ от T , температурное положение и интенсивность максимумов трения.

Список литературы

1. *Нильсен Л.* Механические свойства полимеров и полимерных композиций/Пер. с англ. П.Г.Бабаевского. – М.: Химия, 1978. – 312 с.
2. *Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В.* Трение и износ полимеров. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
3. *Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б.* Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
4. *Гладченко А.Н., Шевеля В.В., Шевеля И.В.* Контактные релаксационные явления в металлополимерных трибосистемах.//Проблемы трибологии. – 1996. - №1 – С.72 –77.
5. *Власов С.В., Калинчев Э.Л.* Основы технологии переработки пластмасс. – М.: Химия, 1995. – 528 с.
6. *Перепечко И.И.* Акустические методы исследования полимеров. – М.: Химия, 1993. – 295 с.
7. *Бартенев Г.М., Бартенева А.Г.* Релаксационные свойства полимеров. – М.: Химия, 1992. – 384 с.

Стаття надійшла до редакції 15 січня 1998 року.



Ігор Валерійович Шевеля (1964) закінчив Київський політехнічний інститут в 1987 році. Кандидат технічних наук. Автор більш 30 наукових праць в галузі триботехніки.

Igor V. Shevelya (b. 1964). Graduated from Kyiv Polytechnical Institute (1987). PhD (Eng), author of more that 30 publications in the field of tribotechnics