

Ш. М. БИЛИК, В. И. ДОНСКИХ

МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 8 V 1970)

При трении напряженное состояние и температурное поле у площадки фактического контакта сопряженных тел изменяются периодически в поверхностных слоях с некоторой частотой; наблюдается изменение свойств материалов, поглощение энергии, вследствие чего по глубине сопряженных тел создается температурный градиент. Тангенциальные силы стремятся переместить цепи макромолекул полимеров в направлении трения. Отдельные сегменты, находящиеся на трущейся поверхности или в непосредственной от нее близости, могут взаимоперемещаться в пределах, ограниченных интенсивностью действия межмолекулярных и внутримолекулярных сил. Смещение участков цепей макромолекул необратимо, так как

энергии тепловых колебаний полимера недостаточно для восстановления исходного положения кинетических единиц. Вследствие этого нарушается плотность упаковки полимера, т. е. происходит разрушение аморфного материала или частичный переход кристаллической структуры в аморфную (рис. 1); наблюдается изменение свойств поверхностных слоев материала. Такая трансформация трущейся поверхности полимерного образца подтверждается также электронномикроскопическими и прочностными исследованиями.

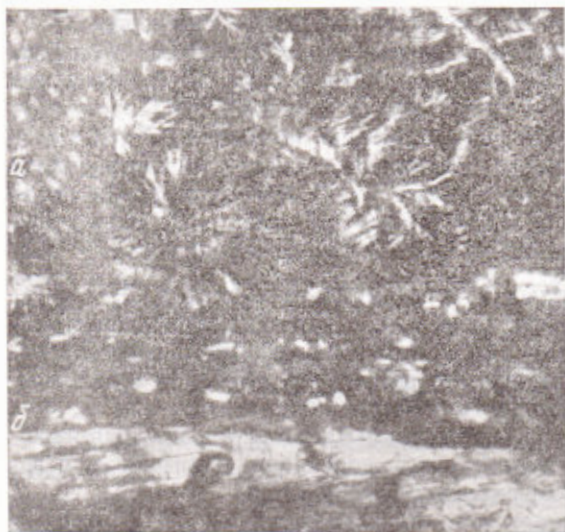


Рис. 1. Полиакраамид со сферолитной структурой (75 \times). а — до трения; б — после трения по стали

Превышение величин параметров трения (скорости скольжения, нагрузки, температуры), допустимых для данного полимера, приводит к разрушению образцов. Механизм разрушения зависит от соотношения энергий химической связи цепи главных валентностей и межмолекулярного взаимодействия на данном участке контакта макромолекул. Если в локальной точке макромолекулы возникает напряжение, превышающее критическую величину, равную прочности химической ковалентной связи между атомами цепи, происходит ее разрыв. Если же меньшими оказываются силы межмолекулярного взаимодействия полимера, то теоретически может происходить перемещение цепей макромолекул, и разрушение образца должно происходить преимущественно без разрыва химических связей.

Для установления механизма разрушения полимеров они исследовались на трение и методом дифференциального термического анализа (д.т.а.) Трение полимерных материалов осуществлялось в условиях, близких к критическим (табл. 1), по схеме стальной вал (V8) — частичный вкладыш со скоростью скольжения 1 м/сек при нагрузках от 6 до 20 кг/см² при коэффициенте перекрытия 1:6.

Известно, что при уменьшении молекулярного веса полимера его температура текучести снижается. Для того чтобы проверить, какой из указанных механизмов разрушения полимерного образца при трении реализуется, разрушенные участки трущихся поверхностей поликапроамида и полиформальдегида, а также деформированную часть политетрафторэтилена исследовали методом дифференциального термического анализа (рис. 2). Сравнение термограмм материалов, не подвергавшихся суммарному действию напряженного состояния и повышения температуры при трении (кривые 1), с термограммами участков полимеров, подвергавшихся такому воздействию (кривые 2), показало, что расположение эндотермического пика, характеризующего переход термопласта в вязко-текучее состояние, для политетрафторэтилена практически не изменилось ($\sim 319^\circ$), а для поликапроамида и полиформальдегида расположение пиков сдвинуто в область более низких температур, соответственно с 220° до 207° и с 167° до 137° . Такое уменьшение температуры текучести свидетельствует о деструкции материалов, а большая размытость пиков — об уменьшении кристаллической фазы (степени кристалличности) полимеров. Наличие деструкции подтверждается также тем, что вязкость растворов из участков образцов полимеров, не работающих на трение, выше на 15—29% вязкости разрушенных при трении поверхностных слоев материала.

Незначительное изменение температуры плавления политетрафторэтилена (рис. 2а) свидетельствует, что разрушение полимеров при трении протекает одновременно по обоим механизмам (разрыв цепей макромолекул и проскальзывания их относительно друг друга), но с преобладанием в данном случае проскальзывания.

Вследствие температурного градиента по высоте трущегося полимерного образца макромолекулы могут одновременно (различными участками) находиться в разных физических состояниях. Напряжения в полимере распределяются крайне неравномерно из-за большого набора времен релаксации, а также из-за ослабления

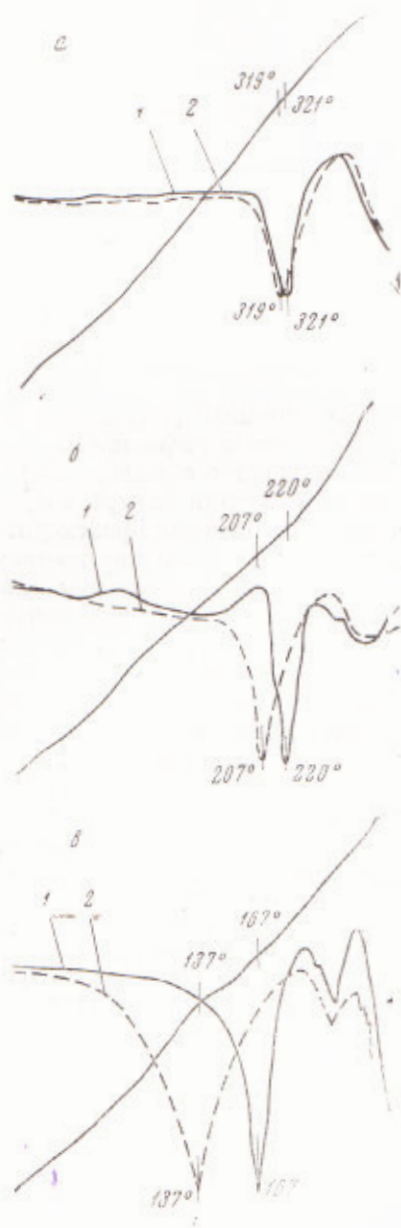


Рис. 2. Термограммы: а — политетрафторэтилен; б — поликапроамид; в — полиформальдегид

сил межмолекулярного взаимодействия в участках с более высокой температурой. В этом случае в поликапроамиде и полиформальдегиде происходит обрыв цепи главных валентностей. Однако не следует считать, что деформации при трении подвергаются только макромолекулы полимера, участки которых находятся в разных физических состояниях. Так, для жестких полимеров (полиформальдегид), у которых отсутствует развитая область высокой эластичности, приближенное соотношение между напряжением и деформацией в зависимости от времени может быть выражено

Таблица 1

Коэффициенты теории μ и температура на контакте t полимерных материалов

Материал	$P = 6 \text{ кг/см}^2$		$P = 12 \text{ кг/см}^2$		$P = 20 \text{ кг/см}^2$	
	μ	$t, ^\circ\text{C}$	μ	$t, ^\circ\text{C}$	μ	$t, ^\circ\text{C}$
Политетрафторэтилен	0,150	62	0,120	109	0,100	178
Поликапроамид	0,400	126	0,453	180	—	—
Полиформальдегид	0,240	100	0,113	165	—	—

релаксационным уравнением Максвелла, из которого следует, что при малых скоростях деформации взаимоперемещение цепей макромолекул не сопровождается обрывом, а при больших скоростях возникающие при трении напряжения быстро возрастают и могут достигать критических значений, при которых происходит механодеструкция полимерного материала, даже находящегося в вязко-текучем состоянии.

Снижение температуры плавления продуктов разрушения при трении полиформальдегида, поликапроамида и политетрафторэтилена соответственно равны 30, 13 и 2°. Это объясняется, вероятно, тем, что полиформальдегид — материал с более жесткими цепями макромолекул. Чем жестче полимер, тем вероятнее разрыв его цепей, так как затрудняется взаимное перемещение их участков, изменение конформаций и перераспределение возникающих напряжений.

Изложенные данные сопоставлялись с данными исследования полимерных образцов, разрушенных под воздействием только статической нагрузки и теплового поля. Установлено, что при трении разрушение полимерных материалов происходит главным образом под воздействием тангенциальных напряжений.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта
Москва

Поступило
20 IV 1970