

05

Определение „контактной“ температуры в зоне трения антифрикционного полимерного покрытия по стали

© В.И. Веттегрень, А.Я. Башкарев, А.А. Лебедев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
E-mail: Victor.Vettegren@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 7 декабря 2005 г.

Исследованы временные зависимости температуры при трении антифрикционного покрытия из смеси полиамидов 6.6 (РА 6.6) и 6 (РА 6) по стали 45. На фоне монотонного роста температуры, измеренной термопарой на расстоянии ≈ 1.5 mm от зоны трения, наблюдали два участка T_1 и T_2 , в окрестности которых температура стабилизируется, а затем вновь увеличивается. Оказалось, что значения этих температур близки к температурам стеклования РА 6.6 и РА 6. Появление участков объяснено резким увеличением затрат энергии трения на сегментальную подвижность при температурах стеклования. Сравнив значения T и T_2 с температурами стеклования, нашли, что „контактная“ температура в зоне трения на $10\text{--}20^\circ$ превышает температуру, измеренную термопарой.

PACS: 81.40.Pq

Одним из перспективных путей увеличения срока службы подшипников скольжения в узлах трения является применение антифрикционных полимерных покрытий [1–7]. При этом существенно увеличивается надежность и долговечность узлов трения и сокращаются расходы на их эксплуатацию и ремонт.

В последнее время для изготовления покрытий используют дешевые серийно выпускаемые полиамиды: РА 5.4, РА 6, РА 6.6 и др. По износостойкости покрытия из этих полимеров значительно превосходят втулки из антифрикционных металлов и сплавов. В связи с этим особый интерес приобрел вопрос о кинетике износа и долговечности таких покрытий.

Согласно современным представлениям [8–12], в основе кинетики износа лежит процесс разрыва межатомных связей под действием тер-

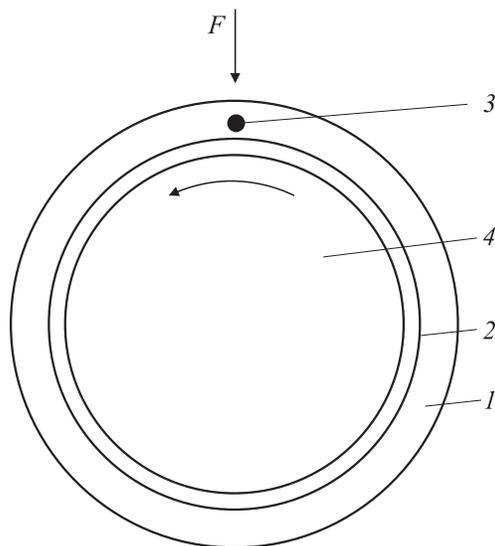


Рис. 1. Схематическое изображение узла трения. На втулку из стали 45 (1) нанесено покрытие (2) толщиной 0.3 мм из смеси полиамидов PA 6.6 и PA 6. Стрелкой показано направление вращения вала (4) из стали 45. Температура измеряется термопарой (3) на расстоянии ≈ 1.5 мм от зоны трения. Нагрузка F направлена сверху вниз.

мических флуктуаций, поэтому для определения долговечности необходимо уметь определять „контактную“ температуру в зоне трения. До последнего времени ее оценивали при помощи сложных расчетов, требующих знания формы, твердости и коэффициентов теплопроводности трущихся тел [10,13–16]. В данной работе описан экспериментальный метод определения контактной температуры при трении полимера по стали. Он основан на сопоставлении значений температур, измеренных с помощью термопары на некотором расстоянии от зоны трения, с температурами релаксационных переходов.

Методика эксперимента. Исследования проводились на лабораторном стенде, имитирующем узел трения транспортных и строительных машин. На рабочую поверхность втулки из расплава наносились покрытия толщиной ≈ 0.3 мм из смеси полимеров PA 6.6 и PA 6 (рис. 1). Материал втулки — сталь 45. Частота вращения вала составляла ≈ 25 s⁻¹. При различных нагрузках F (рис. 1) изучали временные

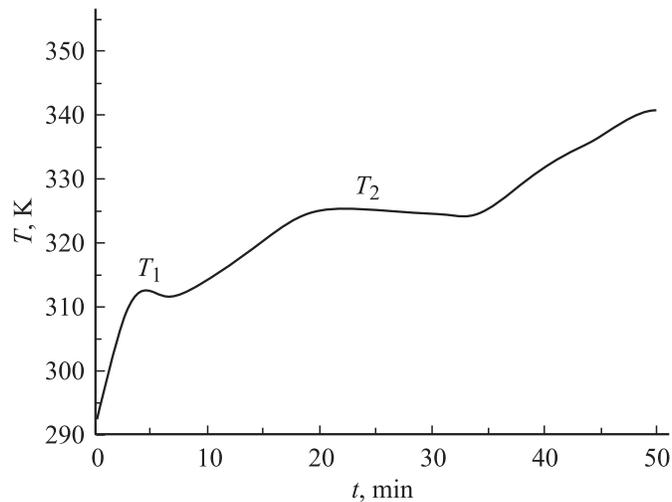


Рис. 2. Фрагмент временной зависимости температуры под нагрузкой $F = 120$ kg.

зависимости температуры в отверстии диаметром 1 mm, просверленном в стальной втулке на расстоянии 2 mm от границы между металлом и полимером. Температуру измеряли при помощи хромель-копелевой термопары.

Результаты измерений. На рис. 2 показан участок временной зависимости температуры под нагрузкой ≈ 120 kg. На нем наблюдается два участка, в окрестности которых температура остается приблизительно постоянной: первый при $T_1 \approx 312$ К и второй — при $T_2 \approx 325$ К. При других нагрузках наблюдалось такое же явление: когда температура достигала 310–315 или 320–330 К, то в течение некоторого промежутка времени (5–20 min) она стабилизировалась, а затем вновь увеличивалась.

Обсуждение результатов. Для выяснения причины появления участков, в которых температура в течение некоторого времени остается неизменной, сравним ее значения с температурами стеклования T_g РА 6.6 и РА 6.

Измерения при помощи дифференциальной сканирующей калориметрии при скорости нагрева 2.5–40 grad/min [17] дали значение T_g для

РА 6: 330–350 К. Оно согласуется с данными, приведенными в [18]: $T_g = 340$ К.

Чтобы определить температуру стеклования РА 6.6 изучали температурные зависимости полос регулярности в инфракрасных (ИК) спектрах и модуля Юнга РА 6.6 при растяжении со скоростью $\approx 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ и при динамических испытаниях с частотой ≈ 100 Hz. Были получены следующие значения: из данных ИК-спектроскопии и при растяжении — $T_g \approx 315$ К, а при динамических испытаниях $T_g \approx 320$ К, которая совпадает с приведенной в [18] — $T_g = 320$ К.

Таким образом, значение T_1 приблизительно на $5\text{--}10^\circ$ ниже T_g для РА 6.6, а T_2 — на $\approx 15\text{--}20^\circ$ меньше температуры стеклования РА 6. Известно, что при температуре стеклования возникает сегментальная подвижность в аморфных областях полимеров, поэтому появление рассматриваемых участков на временных зависимостях температуры можно объяснить резким увеличением энергии трения на возбуждение сегментальной подвижности молекул полимеров при температурах стеклования РА 6 и РА 6.6. Такое объяснение позволяет оценить „контактную“ температуру в зоне трения полиамидного покрытия по стали: она отличается от температуры, измеренной термопарой, не более чем на $\approx 10\text{--}20^\circ$.

Предварительные опыты показали, что температура в зоне трения других полимеров (ароматических полиамидов и полигетероариленов) по сталям также не превышает $5\text{--}10$ К от значения, измеренного термопарой на расстояниях $2\text{--}5$ мм от нее. Этот результат согласуется с результатами оценки температур в зоне трения по спектрам люминесценции [19,20]. Он открывает возможности экспериментальной оценки „контактных“ температур в зоне трения, используя показания термопар.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-08-01216а).

Список литературы

- [1] *Белый В.А., Довгяло В.А., Юркевич О.Р.* Полимерные покрытия. Минск: Наука и техника, 1976. 416 с.
- [2] *Башкарев А.Я., Миронов Н.И., Семенов В.П.* Пластмассы в строительных и землеройных машинах. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1981. 191 с.
- [3] *Чичнадзе А.В.* Полимеры в узлах трения машин и приборов. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.

- [4] *Vadasz Emil*. Gepalkatreszek gyartasa es javitasa muanyagbevonattal. Muszaki Konyvkiado. Budapest, 1978. 320 p.
- [5] *Шестаков В.М.* Работоспособность тонкослойных полимерных покрытий. М.: Машиностроение, 1973. 160 с.
- [6] *Платонов В.Ф.* Подшипники из полиамидов. М.: Машгиз, 1961. 112 с.
- [7] *Гепель С.Б., Белый В.А., Булгаков В.Я., Гехтман Г.А.* Применение полимерных материалов в качестве покрытий. М.: Химия, 1968. 238 с.
- [8] *Ратнер С.Б.* // Докл. АН СССР. 1963. Т. 150. № 4. С. 150–154.
- [9] *Ратнер С.Б., Лурье Е.Г.* // Докл. АН СССР. 1966. Т. 166. № 4. С. 909–913.
- [10] *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 826 с.
- [11] *Веттегрень В.И., Башкарев А.Я., Суслов М.А.* // ФТТ. 2005. Т. 47. В. 9. С. 1619–1624.
- [12] *Петров В.А., Башкарев А.Я., Веттегрень В.И.* Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. СПб.: Политехника, 1993. 475 с.
- [13] *Uefz H.* // *Verstoffe und Korrosion*. 1968. Heft 8. S. 665–676.
- [14] *Uefz H., Breckel H.* // *Wear*. 1967. V. 10. P. 185–198.
- [15] *Uefz H., Feohl J.* // *VDI-Berichte*. 1973. N 194. S. 57–68.
- [16] *Uefz H., Feohl J.* // *Schmiertechnik u. Tribologie*. 1974. Bd. 27. N 6. S. 141–144.
- [17] *Берштейн В.А., Егоров В.М.* Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. Л.: Химия, 1990. 256 с.
- [18] *Alger, Mark S.M.* *Polymer science dictionary*. N.Y.: Elsevier Applied Science, 1989. 532 p.
- [19] *Тохметов А.Т., Веттегрень В.И.* // ФТТ. 1990. Т. 32. В. 1. С. 33–37.
- [20] *Тохметов А.Т., Веттегрень В.И.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 20. С. 1895–1898.