

ОЦЕНКА ЛИНЕЙНОГО ИЗНОСА ОБЛУЧЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ВАРИАЦИЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ

А. З. СКОРОХОД

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Известно, что радиационная обработка позволяет улучшить как механические, так и трибологические характеристики различных полимеров [1–3]. В работе [2] доказано образование химических связей между полимерной матрицей и поверхностью стекловолокна при воздействии дозы облучения на воздухе. А в работе [3] показано, что зависимость интенсивности изнашивания ПВДФ от поглощенной дозы излучения носит экстремальный характер.

Несмотря на проведенные ранее исследования, существенным фактором, сдерживающим решение прикладных задач трибологии, является отсутствие достоверных критериев выбора износостойких материалов и их совместимости для различных видов изнашивания [4]. Основная причина этого состоит в том, что до настоящего времени не удалось решить ключевую задачу трибологии – раскрыть в полном объеме механизм изнашивания.

Поскольку при изменении структуры полимеров в определенной закономерности изменяются все физико-механические свойства, то для исследования механизма изнашивания не всегда целесообразно моделировать трибологический процесс, т.к. его можно контролировать по некоторым механическим характеристикам: прочность при разрыве, относительное удлинение и твердость (микротвердость) [1–5].

Известно, что если все соответствующие безразмерные комбинации, составленные из размерных величин, описывающие два процесса, одинаковы, то процессы подобны [6]. В этом случае изучение интересующего нас натурального явления мы заменяем изучением физически подобного явления, которое удобнее и выгоднее осуществить. Необходимо отметить, что при радиоллизе термопластичные полимеры переходят из высокоэластического состояния в стеклообразное. Оптимизация такого процесса может быть осуществлена при помощи серии ДТА (ДСК) по кривым плавления или по кривым ТМА. Прямым подтверждением подбора оптимальных механических свойств при радиоллизе является эксперимент, в частности – наличие высокой износостойкости материала. Однако можно пойти обратным путем: учитывая взаимосвязь между изменением механических характеристик полимера при облучении и износостойкостью, можно прогнозировать поведение кривой изнашивания по характерным точкам (экстремум, точка перегиба), не делая эксперимента. Важно определить минимальную дозу облучения, при которой соотношение механических характеристик (соотношение между прочностью и пластичностью) будет оптимально.

В качестве материалов для исследования были выбраны поливинилиденфторид (ПВДФ), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), фторопласт-40 (Фт-40).

Рассмотрим математическую модель, в которой предполагается, что каждое экспериментально полученное значение может быть представлено в виде линейно независимых векторов $c_{ij} \cdot x_j$, оказывающих суммарный вклад на интенсивность изнашивания полимеров. Задача, которую предстоит решить, ставится следующим образом: выяснить корреляцию между изменением механических характеристик в процессе облучения и интенсивностью изнашивания при трении полимерных материалов.

Решая систему в виде четырех алгебраических уравнений с четырьмя неизвестными, в которой значения поглощенной дозы и механические характеристики получены экспериментальным путем для каждого полимерного материала, определяем безразмерные параметры коэффициентов механических характеристик в виде $L_i = \left(\frac{\sigma_i^p}{\Delta l_i \cdot \sigma_i^m} \right)$, где суммирование по i не производится ($i = 1 \dots 4$).

Методом регрессионного анализа определим аналитический вид функции, описывающей зависимость интенсивности изнашивания (например, ПВДФ) от поглощенной дозы. Запишем уравнение регрессии:

$$f(x) = 2,031 \cdot 10^{-11} x^3 - 8,214 \cdot 10^{-11} x^2 - 8,161 \cdot 10^{-11} x + 1,62 \cdot 10^{-9}.$$

На рисунке 1 приведены кривые, построенные по экспериментальным точкам и по уравнению регрессии.

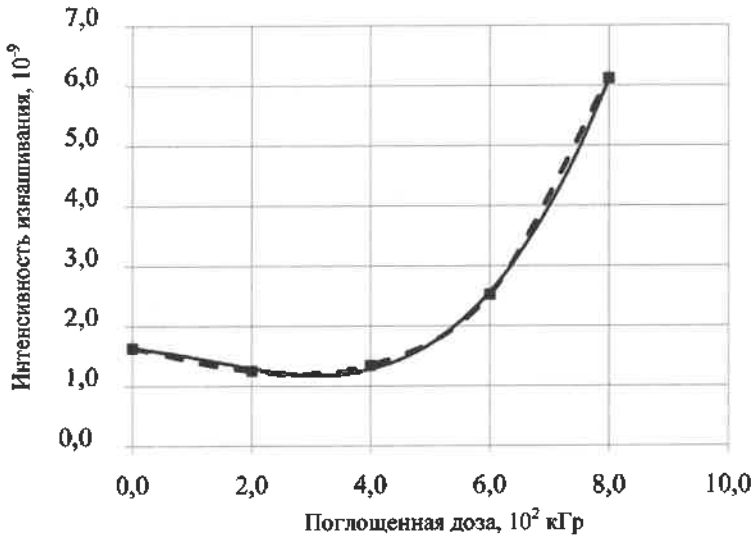


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности изнашивания от дозы облучения: пунктирная линия – экспериментальные точки; сплошная – уравнение регрессии

Видно, что уравнение регрессии достаточно хорошо описывает экспериментальные точки.

Определим безразмерные параметры коэффициентов механических характеристик для ПВДФ, ПЭВП и Фт-40 П как

$$(LK^{ПВДФ})_i = \frac{(\sigma_{ПВДФ}^p)_i}{(\Delta I_{ПВДФ})_i (\sigma_{ПВДФ}^m)_i}; (LK^{ПЭ})_i = \frac{(\sigma_{ПЭ}^p)_i}{(\Delta I_{ПЭ})_i (\sigma_{ПЭ}^m)_i}; (LK^{Ф40П})_i = \frac{(\sigma_{Ф40П}^p)_i}{(\Delta I_{Ф40П})_i (\sigma_{Ф40П}^{HB})_i},$$

где суммирование по i не производится ($i = 1 \dots 4$).

На рисунке 2 приведены зависимости интенсивности изнашивания, полученные на основании методов теории подобия и уравнения регрессии.

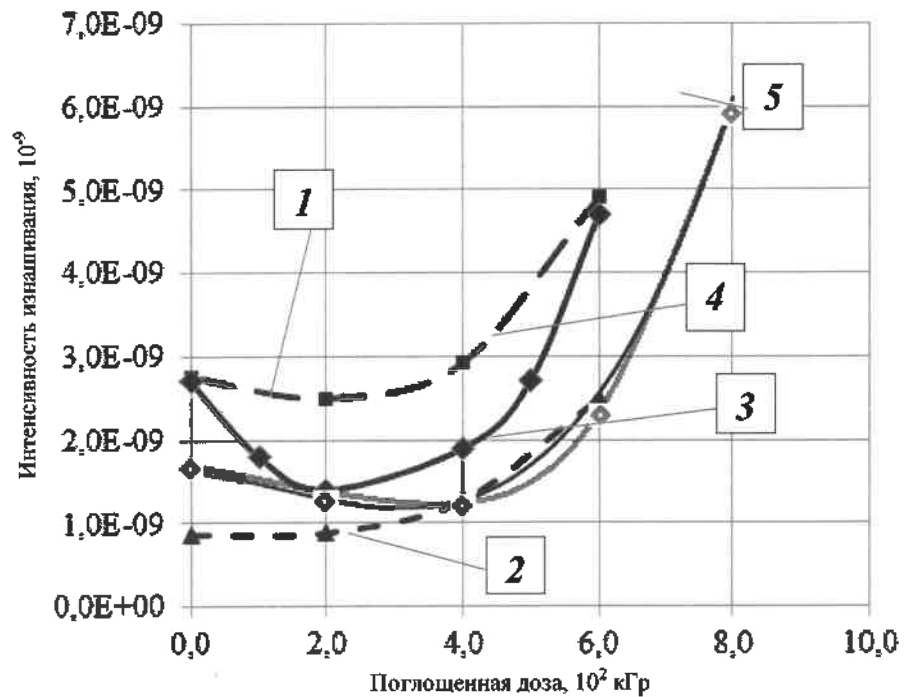


Рисунок 2 – Интенсивность линейного изнашивания как функция дозы облучения: 1 – расчет на основании механических характеристик ПЭ; 2 – расчет на основании механических характеристик Ф-40П; 3 – по уравнению регрессии для ПВДФ; 4, 5 – полученные экспериментальным путем для ПЭВП и ПВДФ на машине трения АЕ-5 по схеме палец – диск при нагрузке 3,6 МПа и скорости скольжения 0,27 м/с среднем пути трения, равном 150 км [7, 8]

Видно, что кривую интенсивности изнашивания, полученную комбинацией механических характеристик ПВДФ [5], с достаточной точностью можно описать при помощи уравнения регрессии [3]. Следовательно, можно полагать, что между дозой облучения ПВДФ, изменением его механических характеристик и интенсивностью изнашивания существует не только некоторая статистическая связь, но эта связь с учетом единственности решения исходных уравнений носит причинно-следственный характер.

Из сравнения кривых [1] и [4] рисунок 2 видно, что интенсивность изнашивания кривой, полученной экспериментальным путем, несколько отличается от интенсивности изнашивания кривой, полученной расчетом. Однако необходимо отметить достаточно хорошее подобие в поведении кривых, что позволяет с высокой достоверностью выбрать дозу облучения для оптимизации прочностных и деформационных характеристик ПЭВП, не проводя длительного эксперимента. Располагая данными зависимости механических характеристик сшивающихся полимерных материалов от дозы облучения, можно прогнозировать ресурс изделия.

Относительно Ф-40П можно также по точке перегиба кривой [2] качественно определить необходимую дозу облучения для прогнозирования ресурса.

Список литературы

- 1 Влияние радиационного облучения на свойства полиолефинов и их смесей с другими полимерами / Л. М. Сергеева [и др.] // Полимерный журнал. – 2006. – Т. 28, № 4. – С. 271–283.
- 2 Влияние облучения на прочностные свойства стеклопластиков на основе полиэтиленовой матрицы / С. Р. Аллаярлов [и др.] // Химия высоких энергий. – 2005. – Т. 39, № 5. – С. 343.
- 3 Gel Fractions and Chain Reactions in Irradiated Polyethylenes / R. A. Jones [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1999. – Vol. B 151. – P. 213–217.
- 4 Триботехническое материаловедение и триботехнология : учеб. пособие / Н. Е. Денисова [и др.]; под общ. ред. Н. Е. Денисовой. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 250 с.
- 5 Gamma-Ray Irradiation Effect of Polyethylene on Dimaleimides as a Class of New Multifunctional Monomers / I. J. Lee [et al.] // Journal of Applied Polymer Science. – Vol. 88. – P. 2339–2345.
- 6 Седов, Л. И. Механика сплошной среды. В 2 т. Т. 2 / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1984. – 560 с.
- 7 Влияние радиационного сшивания на интенсивность изнашивания поливинилиденфторида при трении в жидкости / В. П. Селькин [и др.] // Трение и износ. – 2008 (29). – № 1. – 58–63.
- 8 Смирнов, В. В. Радиационно-модифицированные полимерные композиты на основе полиолефинов для машиностроения : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В. В. Смирнов. – Гомель, 1997. – 333 с.

УДК 539.31

ФУНКЦИЯ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА С ПОКРЫТИЕМ ТИПА МЕМБРАНЫ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Е. Ю. МИХАЙЛОВА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

При решении линейных динамических задач для деформируемых тел большую роль играют функции влияния. Они являются результатом решения задач при задании на границе деформируемого тела одной из компонент перемещения или напряжения в виде произведения дельта-функций Дирака по пространственным координатам и времени. Функция влияния для полупространства с покрытием типа мембраны является решением начально-краевой задачи о воздействии на мембрану, лежащую на поверхности упругого полупространства, сосредоточенной мгновенной нормальной нагрузки.

На мембрану, лежащую на поверхности упругого изотропного полупространства, воздействует сосредоточенное мгновенное нормальное давление вида $p = \delta(\tau)\delta(x)$. Контакт между мембраной и полупространством происходит в условиях свободного проскальзывания (рисунок 1). До начала взаимодействия полупространство и мембрана находятся в невозмущенном состоянии