

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ АНТИФРИКЦИОННОГО ИЗДЕЛИЯ

ШЕВЕРДЯЕВ Олег Николаевич – д-р техн. наук, профессор МГОУ,
e-mail: olegn3711@mail.ru

ПЯТОВ Иван Соломонович – председатель совета директоров
ООО «РЕАМ-РТИ», e-mail: reamrti@mail.ru

ДАНИЛОВ Владимир Дмитриевич – канд. техн. наук, ст. научный сотр.
Института машиноведения
им. А.А.Благонравова РАН,
e-mail: danilovvd@mail.ru

ВРУБЛЕВСКАЯ Юлия Ибремовна – аспирант МГОУ, ведущий инженер
ООО «РЕАМ-РТИ», e-mail: v228@mail.ru

Проведены расчеты по прогнозированию срока работоспособности эластомерного изделия модифицированного, с целью улучшения фрикционных показателей, поверхностно-активным веществом. Изучена длительность сохранения защитных свойств поверхностно-активного вещества.

The calculations on prediction of endurance of rubber articles modified by surfactant for improvement friction properties were carry out. The duration of protection properties of surfactant was investigated.

Ключевые слова.

Долговечность, поверхностно-активное вещество, диффузия, антифрикционный эластомерный материал.

Endurance, surfactant, diffusion, antifriction rubber article.

Долговечность – основной показатель надежности изделий. Из-за сложности прямого определения важное значение приобретает прогнозирование долговечности. Срок службы полимера в изделии определяется свойствами материала, условиями эксплуатации, хранения и др.; надежность прогноза зависит, прежде всего, от того, насколько хорошо учтены эти факторы.

В литературе практически отсутствуют сведения о сроке службы антифрикционных изделий при конкретных условиях эксплуатации, о его прогнозировании.

Авторами изучена длительность сохранения защитных свойств и составлен прогноз срока работоспособности антифрикционного изделия с учетом удаления граничного смазочного слоя. Для этой цели разработан метод прогнозирования антифрикционных свойств эластомерных материалов, в объем которых введено поверхностно-активное вещество (ПАВ) и получено уравнение, определяющее срок службы антифрикционного изделия – уплотнения для амортизаторов в узлах трения.

Совершенно очевидно, что эластомерный материал сохраняет антифрикционные свойства до тех пор, пока концентрация ПАВ на поверхности превышает некоторую минимальную (критическую) величину.

В случае применения «внутреннего» ПАВ (введенного в объем материала) его концентрация на поверхности материала будет определяться соотношением скоростей двух процессов:

- диффузией из объема на поверхность;
- удалением с поверхности.

Концентрация ПАВ в объеме полимера может уменьшаться за счет диффузии ПАВ, а также в результате различных химических реакций. В последнем случае определение долговечности антифрикционных свойств эластомерных материалов сводится к нахождению времени, в течение которого достигается определенная глубина превращения. Это задача химической кинетики.

Очевидно, что скорость потери ПАВ в объеме за счет диффузии к поверхности материала значительно выше скорости уменьшения ПАВ в результате химической реакции. Это подтверждается тем, что антифрикционная защита возможна только при «подпитке» ПАВ из объема на поверхность материала.

Скорость потери ПАВ эластомерным материалом во многом определяется скоростью его удаления с поверхности материала.

Принципиально возможны два крайних случая:

- ПАВ очень быстро удален с поверхности материала;
- ПАВ настолько медленно удаляется с поверхности, что концентрация его в объеме и на поверхности материала практически одинакова.

Практически интерес представляет второй случай.

Известно, что скорость потери добавок с поверхности материала пропорци-

ональна поверхностной концентрации в первой степени [1]. В этом случае можно записать следующее уравнение:

$$-\frac{dA}{dt} = \alpha S C_s, \quad (1)$$

где $\frac{dA}{dt}$ – количество ПАВ, удаляемого

с поверхности материала S в единицу времени;

α – параметр, характеризующий скорость процесса;

C_s – поверхностная концентрация ПАВ.

Изменение концентрации ПАВ в полимере можно описать уравнением:

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{\alpha}{L} C, \quad (2)$$

в интегральной форме:

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{\alpha}{L} \cdot t\right) \quad (3)$$

где C_0 – начальная концентрация ПАВ в образце; L – толщина образца.

Согласно [1] параметр α может быть расшифрован следующим образом:

$$\alpha = \frac{V_0}{C_\infty}, \quad (4)$$

V_0 – скорость удаления чистого ПАВ;

C_∞ – максимально возможная концентрация ПАВ в образце.

Поэтому можно записать:

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{\alpha}{L} t\right) = C_0 \exp\left(-\frac{V_0}{C_\infty L} t\right), \quad (5)$$

Для времени, в течение которого материал сохраняет антифрикционные свойства, можно записать:

$$\tau = \frac{C_\infty L}{V_0} \ln \frac{C_0}{C_{\min}} = \frac{L}{\alpha} \ln \frac{C_0}{C_{\min}}, \quad (6)$$

C_{\min} – минимальная концентрация ПАВ в материале, при которой материал еще обладает антифрикционными свойствами.

Согласно уравнению (5) срок службы антифрикционного материала тем выше, чем выше растворимость в нем ПАВ и ниже его «удаление» с поверхности материала. Он увеличивается пропорционально изменению толщины материала и начальной концентрации ПАВ.

Уравнение (5) является хорошим приближением для расчета τ при удалении ПАВ с поверхности материала разными способами. Возможные различия будут связаны только со значением коэффициента массопереноса ПАВ через границу полимер – внешняя среда.

Отсутствие коэффициента диффузии D в уравнении (5) обусловлено тем, что диффузия ПАВ из объема к поверхности образца происходит во много раз быстрее, чем удаление ПАВ с поверхности образца.

Коэффициент α может быть определен эмпирически. Для этого необходимо определить концентрацию ПАВ в эксплуатирующемся в течение времени t материале и с помощью уравнения найти α .

$$\tau = \frac{L}{\alpha} \ln \frac{C_0}{C_t} \quad (7)$$

Рассмотрим модель, которая может быть применима для расчета τ антифрикционного материала. Часть ПАВ периодически удаляется с поверхности материала в течение времени t_1 в процессе работы конкретного узла трения; время между циклами работы узла трения (если процесс трения не непрерывен) t_2 ; выполняется условие: $t_1 \ll t_2$; в течении времени t_1 концентрация ПАВ на поверхности минимальная.

За время t_1 из антифрикционного изделия каждый раз удаляется небольшая доля ПАВ β . Через n циклов работы кон-

кретного узла концентрация ПАВ будет равна:

$$C = C_0 (1 - \beta)^n, \quad (8)$$

Число циклов n , за которое концентрация ПАВ снижается до C_{\min} , равна:

$$n = \frac{\ln \frac{C_0}{C_{\min}}}{\ln(1 - \beta)} \approx \frac{1}{\beta} \ln \frac{C_0}{C_{\min}}, \quad (9)$$

Учитывая, что полная продолжительность каждого цикла работы антифрикционного узла составляет $t_1 + t_2$, срок службы антифрикционного изделия равен:

$$\tau = n(t_1 + t_2) = \frac{t_1 + t_2}{\beta} \ln \frac{C_0}{C_{\min}} \approx \frac{t_2}{\beta} \ln \frac{C_0}{C_{\min}}, \quad (10)$$

Не трудно убедиться, что уравнение (9) совпадает с уравнением (5) при условии $\frac{t_2}{\beta} = \frac{L}{\alpha}$.

Параметр β можно определить следующим образом: в течение времени t_1 происходит диффузия ПАВ из материала, описываемая дифференциальным уравнением [2]:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}, \quad (11)$$

Начальное условие $C(x, 0) = C_0$, граничное условие $C(0, t) = 0$ и $\frac{dc}{dx} \Big|_{x=L} = 0$ (вторая поверхность материала считается непроницаемой для ПАВ).

Решение этого уравнения для данных начальных и граничных условий известно [3]. Для малых t изменение концентрации ПАВ в полимере может быть записано в виде:

$$C_0 - C_t = 2 \frac{1}{L} C_0 \sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t}, \quad (12)$$

где C_0 – начальная концентрация ПАВ в полимере:

C_t – концентрация ПАВ ко времени t ;

L – толщина образца;

D – коэффициент диффузии ПАВ.

Таким образом, величина β равна:

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{D}{\pi}}}{L} \sqrt{t_1}, \quad (13)$$

Уравнение (9) можно записать в окончательном виде:

$$\tau = \frac{t_2 L}{\sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t_1}} \ln \frac{C_0}{C_{\min}}, \quad (14)$$

Видно, что на срок службы антифрикционного изделия не очень сильно влияет t_1 .

Ниже приводится расчет долговечности (τ) антифрикционного изделия – амортизатора для автомобилей с использованием данного уравнения.

Принимаем начальную концентрацию ПАВ в эластомере $C_0 = 2$ масс. %, концентрацию ПАВ ко времени $t(C_{\min})$, обеспечивающую антифрикционные свойства – 0,3 масс. %, коэффициент диффузии ПАВ (D), равным $1,1 \cdot 10^{-14}$ м²/с ($4 \cdot 10^{-11}$ м²/ч),

толщину рабочей части амортизатора (L) – $3,0 \cdot 10^{-3}$ м; значениями t_1 и t_2 задаемся согласно стендовым испытаниям изделия – соответственно 52,7 и 2 ч.

$$\tau = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-11}}{3,14}} \sqrt{52,7}} \ln \frac{3}{0,5} = 560.$$

Стендовые испытания на долговечность амортизаторов проведены в соответствии с ОСТ 37.001.084-84 «Амортизаторы телескопические гидравлические и гидропневматические автотранспортных средств. Методы стендовых испытаний» и ПМИ – АВ006-2001 «Программа и методика периодических испытаний». Надо отметить, что только резкое изменение условий эксплуатации антифрикционных изделий может привести к несоответствию полученного уравнения.

Согласно требованию ТУ 4591-010-54239855-2005 «Амортизатор гидропневматический однострубный для автомобиля ГАЗ 24, 2410, 3102, 31029, 3110» долговечность изделий должна составлять не менее 370 ч при 2 млн циклов работы в одночастном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Calvert P.D, Billingham N.C. Loss of additive from polymers: theoretical model // J. Appl. Polym. Sci. – 1979. – V. 24. – № 2. – P. 357-370.
2. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. – М.: Химия, 1974. – С. 54-75.
3. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford. Clarendon press, 1957. – P. 85.