

О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ
ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ И ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Настоящий В.А.¹, к.т.н., проф., Яцун В.В.¹, к.т.н., доц. Джирма С.А.¹,
к.т.н., доц., Чижик Е.Ф.², к.т.н., с.н.с.

¹Кировоградский национальный технический университет, Украина

²Научно-производственное предприятие "Механобр-Полимет",
Днепропетровск, Украина

Резина и полиуретан прочно заняли ведущие позиции как конструкционные материалы для износостойких покрытий и футеровок машин и сооружений различного технологического назначения. В этом убеждает длительная практика эксплуатации машин и сооружений с резиновыми и полиуретановыми футеровками: кузовов тяжелых автомобилей, вагонов, бункеров, течек, рудоспусков, перепусков и т.д. [1, 2].

Во время работы транспортирующих и перегрузочных сооружений каждая единица площади рабочей поверхности футеровки подвергается многократному силовому воздействию со стороны перемещающихся твердых кусков загрузки. При этом роль непосредственных динамических контактов кусков с футеровкой может быть сравнительно невелика вследствие редкости их осуществления, а на первый план выходит действие общего циклического нагружения.

Основной рабочий цикл загрузки сводится к условиям сжатия из-за веса перемещаемой загрузки, что может быть охарактеризовано некоторым усредненным значением величины приложенного напряжения. Циклически повторяющийся процесс с течением времени приводит к накоплению усталостных повреждений в поверхностном слое материала футеровки, что означает начало ее разрушения.

Поскольку из известных теорий только термофлуктуационная (кинетическая) теория разрушения [3] была разработана, в первую очередь, применительно к полимерным материалам, то естественно задаться целью оценить на ее основе срок службы элементов эластичной футеровки, например, полиуретановой плиты. Основное уравнение кинетической теории связывает долговечность τ твердого тела при

воздействии приложенного напряжения σ с величиной температуры T соотношением:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U - \gamma\sigma}{k \cdot T}\right). \quad (1)$$

Формула (1) является эмпирически установленной зависимостью, хорошо оправдывающейся для большого числа как полимерных, так и металлических материалов. Согласно кинетической концепции, элементарные акты разрывов межатомных связей не являются чисто механическими, а обусловлены тепловыми флуктуациями сил межмолекулярного взаимодействия. Для того чтобы произошло разрушение тела, должны быть разрушены все связи между молекулами в каком-либо его сечении. Иначе говоря, долговечность тела под нагрузкой, определяемая этой формулой, есть величина промежутка времени между тепловыми флуктуациями, приходящимися на элементарные связи в рассматриваемом сечении тела и достигающими величины прочности на разрыв. Для того, чтобы использовать формулу (1) для оценки долговечности элементов футеровки, необходимо предварительно выяснить, о каком именно сечении материала идет речь. Поскольку разрушение есть дискретный процесс, то такое сечение определяется минимальным характерным размером отдельной частицы разрушения как "элементарной ячейки" всего процесса. Плита или любой другой элемент футеровки будет разрушен полностью, когда суммарный объем отдельных элементарных частиц разрушения окажется сравнимым с исходным объемом элемента.

Таким образом, сначала необходимо определить, что понимается под элементарной частицей разрушения и дать оценку ее величины.

Известно, что с точки зрения механики трения и износа [4], процесс изнашивания трущихся поверхностей протекает как процесс образования и отделения адгезионных частиц износа, что является макроскопическим следствием разрывов элементарных связей между молекулами. Средний размер образующихся адгезионных частиц износа является характеристической величиной материала, поскольку он определяется его физическими параметрами. Это дает возможность вывести аналитическую оценку для величины диаметра α_{lim} этих частиц в виде [3]:

$$\alpha_{\text{lim}} = 24000 \cdot \frac{\gamma}{\sigma}, \quad (2)$$

где γ – удельная поверхностная энергия материала; σ – его предел прочности.

Поскольку процесс изнашивания рабочей поверхности футеровки транспортирующих и перегрузочных сооружений протекает, в основ-

ном, вследствие истирания твердыми кусками и частицами, то имеется возможность отождествить "элементарные частицы разрушения" с адгезионными частицами износа и воспользоваться формулой (2) для оценки их характерного размера.

При этом целесообразно переписать эту формулу с помощью выражения Орована в виде:

$$\alpha_{\text{lim}} = 2400 \cdot \frac{E}{\sigma} \cdot \alpha. \quad (3)$$

Дальнейшая модификация приводит к выражению:

$$\alpha_{\text{lim}} = 2,6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{\sigma} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (4)$$

где μ – молекулярный вес; ρ – плотность материала.

Формулы (3), (4) могут быть использованы для прогнозирования размера элементарной частицы разрушения материала футеровки, образующейся в течение времени τ . Например, если рассматривается полиуретановая плита, то для γ усредненное значение равно 656 дн/см [5], а для $\sigma \cong 0,06$ ГПа. При подстановке это дает значение $\alpha_{\text{lim}} \cong 0,44$ мм для размера элементарной частицы износа.

Использование уравнения долговечности (1) предполагает знание численных значений входящих в него параметров. Таковые можно взять из работ Журкова и его школы. Так, для резины и пластиков величина энергии активации U_0 колеблется в пределах 30-50 ккал/моль, а величина γ – в пределах 0,28-1,78 ккал/(моль·мм²/кг) [6].

Хотя давление загрузки приводит к сжимающим напряжениям в футеровке, но наряду с этим развиваются также и растягивающие напряжения в соответствии с теорией Герца [7], так как контакты кусков загрузки с поверхностью футеровки локализованы на отдельных участках, где развиваются упругие контактные напряжения по Герцу. И сжимающие, и растягивающие напряжения способствуют образованию и накоплению усталостных повреждений.

Проиллюстрируем имеющуюся экспериментально-аналитическую информацию прогнозирования износостойкости эластомерных покрытий транспортирующих и перегрузочных сооружений.

Для перегрузочного узла с высотой падения кусков 5-7 м, имеющего полиуретановую футеровку с плотностью материала загрузки $\rho = 3,5$ г/см³, среднее давление на футеровку составляет величину порядка 0,3 МПа. При этом температура рабочей поверхности футеровки может достигать 70⁰С. Основываясь на этих данных, с помощью уравнения (1) получаем оценку $\tau \cong 105$ с для времени образования отдельной адгезионной частицы износа. Это означает, что на образование

отдельного слоя изношенных частиц футеровки затрачивается примерно пять часов непрерывной работы. Для толщины этого слоя имеем по формуле (2) оценку, равную вычисленному выше значению α_{lim} . Таким образом, имея в виду, что высота изнашиваемой футеровки составляет величину порядка 10 см, можем найти суммарное количество последовательно образующихся слоев изнашиваемого материала, требующееся для этого время оценивается величиной примерно 1000 ч, т.е. около 1,5 месяцев непрерывной работы. Это согласуется с фактически наблюдающейся продолжительностью работы пластиковых футеровок вплоть до полного износа.

Вывод

Продемонстрированная на этом примере методика расчета может быть применена и для расчета долговечности других элементов футеровки.

Summary

Methodology of prognostication of wearproofness of elastomeric coverages of transporting and shifting building of enterprises of mining and metallurgical complex is in-process grounded on the basis of theory of destruction of polymeric materials. The teoretiko-experimental information necessary for calculation of wear resistance and durable polymeric linings is provided.

1. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования / А.А. Тарасенко, Е.Ф. Чижик, А.А. Взоров, В.А. Настоящий. – М.; Недра, 1985. – 204 с.
2. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц / Франчук В.П., Настоящий В.А., Маркелов А.Е., Чижик Е.Ф. // Комсомольск-Кременчук – Науково-виробниче видання, 2008. – 382 с.
3. Разрушение: в 7 т. / Под ред. Г. Айбовца. – М.: Мир, 1973-1976. – Т. 1-7.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. – С. 480.
5. Берри Дж. Разрушение стеклообразных полимеров // Разрушение; ред. Г. Либовиц. – М., 1976. – Т. 7. – С. 7-66.
6. Ковров В.Н. Ядро ползучести с параметрами уравнения долговечности С.Н. Журкова // Полимерные материалы в машиностроении. – Пермь: ППИ, 1976. – С. 51-53.
7. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1959. – 440с.