

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ  
УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ РЕЗИНОВЫХ ПОКРЫТИЙ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ  
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

**В.А.Настоящий<sup>1</sup>, к.т.н., проф., Е.Ф.Чижик<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.,  
В.В.Яцун<sup>1</sup>, к.т.н., доц.**

<sup>1</sup>*Кировоградский национальный технический университет, Украина*  
<sup>2</sup>*Научно-производственное предприятие "Механобр-Полимет",  
Днепропетровск, Украина*

Неотъемлемыми составляющими технологических схем предприятий строительной индустрии и горно-металлургического комплекса являются бункеры, рудоспуски, перепуски, перегрузочные узлы и т.д. В качестве футеровочных материалов поверхностей, непосредственно контактирующих с перерабатываемым материалом, в указанных конструкциях широко используются износостойкие резины на основе натурального и синтетического каучуков. [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, однако известно, что для процесса абразивного износа резины характерно существование начального инкубационного периода, в течение которого материал может интенсивно поглощать энергию ударяющихся частиц, не подвергаясь при этом заметным макроскопическим изменениям. Но вслед за этим, начиная с некоторого момента, развивается процесс интенсивного разрушения поверхности. В течение упомянутого периода происходит накопление усталостных микроповреждений.

Как отмечалось в [3], уровень теоретико-экспериментальных исследований в этой области не позволяет объяснить начальный процесс появления усталости. Установлено, что «нужно чтобы материал в целом устал, т.е. чтобы в нем появились рассеянные начальные повреждения с достаточной концентрацией и эти повреждения изменили бы физико-механические свойства материала». Физическая природа таких повреждений до сих пор остается неустановленной, но считается, что «для выяснения механизма износа пластиков и эластомеров недостаточно знать изменения макроскопических параметров ( $E$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $t$ ) и режи-

ма износа ( $T$ ,  $V$ ), но важно учитывать также изменение структуры материала в результате физико-химических процессов» [3]. Хотя существующая термофлуктуационная теория разрушения «призвана объяснить с молекулярной точки зрения усталостный механизм износа, количественно они не согласуются» [4]. Тем не менее, авторы работы [4] могли прийти к следующим важным выводам: ведущим фактором, определяющим износ резины, является температура контактирующих поверхностей; элементарные акты износа протекают в условиях значительных температур в пятнах касания.

Последнее указание насчет значения локальных температурных всплеск может быть положено в основу физического моделирования начальных актов износа при изучении механизма абразивного разрушения. Для этого сначала отметим, что проблема происхождения местных подъемов температуры в рассеянных центрах – в «горячих точках» – стоит в центре внимания современной физики детонации промышленных взрывчатых веществ. Так, Ф. Боуден в ряде классических исследований выдвинул свою концепцию горячих очагов как точек адиабатического разогрева газовой фазы [5]. Однако новые исследования показали недостаточность такого истолкования, и поэтому в работе [6] были высказаны соображения относительно возможности разогрева локальных очагов на фронте инициирующего ударного импульса вследствие перераспределения кинетической энергии массового движения вещества, концентрирующейся в окрестности схлопывающихся микрокаверн, рассеянных в материале. Иначе говоря, утверждается, что «горячие точки» – это следы, оставшиеся на месте залеченных ударом микропор типа микротрещин Гриффитса.

Подобные же соображения, естественно, могут быть перенесены на ситуацию, возникающую при ударе твердого куска или абразивной частицы по поверхности полимерного покрытия, что позволяет выдвинуть новую гипотезу о термической природе эрозионного износа полимеров.

Предварительно отметим, что в экспериментальных работах исследовались экзотермические эффекты при разрыве резины [7] и других полимеров. Были зафиксированы температурные всплески  $\Delta T$  с величиной порядка нескольких сотен градусов в вершине распространяющейся трещины. Имея в виду, что в поле упругих напряжений исходные микротрещины могут не только расти, увеличиваясь в размерах, но и сокращаться вплоть до почти полного исчезновения, если приложены достаточно высокие сжимающие напряжения [8]. Рассмотрим схему удара абразивной макрочастицы о слой полимерного покрытия.

В момент удара частицы со скоростью  $V$  от точки контакта начинает распространяться волна упругих напряжений с интенсивностью, зависящей от величины  $V$  и механических характеристик материала.

В диапазоне умеренных скоростей удара можно использовать для оценки величины упругих сжимающих напряжений  $\sigma$  в окрестности точки 0 схему соударения абсолютно жесткого тела с упругим полупространством, характеризующимся модулем упругости  $E$  и плотностью  $\rho$  [9]. Соответствующее выражение имеет вид

$$\sigma = V \sqrt{\rho E},$$

что удобнее записать в виде отношения

$$\frac{\sigma}{E} = \sqrt{\frac{\rho V^2}{E}}.$$

Известно, что в твердых пластиках, как и в других твердых телах, всегда присутствуют начальные дефекты, микропоры типа микротрещин Гриффитса с размерами порядка 10-3 мм. В силу незначительных размеров они не искажают картину распространения волновых возмущений, но могут служить концентраторами напряжений, а также увеличиваться в размерах или сокращаться в зависимости от величины и знака приложенных нагрузок. Значительного сокращения и исчезновения («залечивания») начальных микротрещин в поле динамических напряжений можно ожидать, если величина сжимающих напряжений соизмерима с величиной модуля упругости  $\sigma \cong E$ .

Пользуясь этой формулой и подставляя в нее характерные, например, для резин значения  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$  и  $E = 50 \text{ кг/см}^2$ , получим в случае скорости удара  $V = 20 \text{ м/с}$  значение  $\sigma/E \cong 2$ . Следовательно, можно считать, что при типических условиях удара абразивной частицы по высокоэластичному покрытию вблизи точки соударения создаются возможности для залечивания микротрещин. Подобная картина может иметь место для термопластов, поскольку любой процесс развития трещины связан с преобразованием энергии из одной формы в другую. В соответствии с первым законом термодинамики, величину поверхностной энергии исходной трещины можно считать минимальной оценкой энергии, пошедшей на разогрев материала в окрестности схлопнувшейся трещины, что позволяет сразу записать элементарную оценку величины подъема температуры в случае сферической микрокаверны с радиусом  $R$ , полагая, в первом приближении удельную теплоемкость материала с постоянной величиной [6]:

$$\Delta T = \frac{3\gamma}{\rho c R} \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельная поверхностная энергия материала.

Оценим с помощью (1) локальный разогрев для типичного полимера ( $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$ ,  $c = 0,3 \text{ кал/г.гр.}$ ), взяв в качестве  $R$  значения 10-3 мм и воспользовавшись для  $\gamma$  усредненной экспериментальной оценкой  $\gamma \cong 5 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^2$  [10]. Подставляя указанные значения в формулу (1), приходим к оценке  $\Delta T \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Полученный результат можно рассматривать как указание на тот факт, что при захлопывании микрокаверн вследствие удара подъем температуры в возникающем локальном очаге разогрева может достигать нескольких сотен градусов. Поскольку при таких температурах углеводородные пластики претерпевают термический пиролиз, распадаясь на элементарные компоненты вплоть до газообразного водорода и сажи [10], естественно предположить, что удар абразивной частицы способен приводить к пиролитическим превращениям полимерного покрытия в местах существования локальных очагов разогрева вблизи точки соударения. Эта гипотеза может быть положена в основу объяснения физической природы усталости полимерного материала, подвергающегося процессу эрозии под действием многократных ударов абразивных частиц и кусков. Действительно, с этой точки зрения, начальный индуктивный период процесса изнашивания может заключаться в накоплении микроскопических полостей, заполненных деструктурированными продуктами термического пиролиза. Подобное накопление при стационарном процессе изнашивания должно продолжаться без видимых макроскопических повреждений вплоть до критического момента, когда материал покрытия оказывается «изъеденным», т.е. насыщенным микрокавернами, содержащими продукты пиролиза, до такой степени, что его механическая прочность оказывается недостаточной для поддержания целостности покрытия. С этого момента скорость изнашивания начинает резко возрастать, а его результаты оказываются все более заметными и приводят в конце концов конструкции к выходу из строя.

**Вывод.** Суть высказанных предположений о природе эрозионного изнашивания полимерных материалов состоит в том, что этот процесс не является чисто механическим, а включает в себя термические превращения материала. Таким образом может найти объяснение тот факт, что при прочих равных условиях более износостойкими оказываются полимеры, обладающие повышенной термической устойчивостью, которые и могут быть рекомендованы в качестве футеровочных материа-

лов рабочих поверхностей бункеров, рудоспусков, перегрузочных узлов и других конструкций предприятий горно-металлургического комплекса.

### Summary

**Supposition is in-process grounded that a process of wear of polymeric materials of working surfaces of transporting and shifting building of enterprises of building, mining and metallurgical complex is not cleanly mechanical, and plugs in itself thermal transformations of material, that allows it is more reasonable to go near the choice of material of the refractory-lined coverages.**

### *Литература*

1. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц / Франчук В.П., Настоящий В.А., Маркелов А.Е., Чижик Е.Ф. // Комсомольськ-Кременчук – Науково-виробниче видання, 2008. – 382 с.
2. Разработка синергетической модели взаимодействия перерабатываемого и транспортируемого сырья с резиновыми покрытиями поверхностей конструкций предприятий горно-металлургического комплекса. / Настоящий В.А., Яцун В.В., Джирма С.О., Чижик Е.Ф. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск №47, част. 2, – Одеса, 2012– С. 264-271
3. Дырда В.И. Резиновые элементы вибрационных машин. –Киев: Наукова думка, 1980. –100 с.
4. Стыллер Е.Е., Ратнер С.Б. Закономерности ударного трения и изнашивания полимерных материалов // Труды ВНИИПТУглемаш. –М., 1979. – Вып. 31. –С. 34-66.
5. Боуден Ф., Иоффе А. Быстрые реакции в твердых телах. –М.: ИЛ, 1962. –310 с.
6. Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. –Л.: Химия, 1972. –250 с.
7. Баранов Е.Г., Оберемок О.Н., Семенюк Е.А. Роль поверхностной энергии при разогреве горячих точек // Физика горения и взрыва. –1981. –№ 5. –С. 85-92.
8. Дырда В.И. Исследование локальных экзотермических эффектов при разрушении резины // Проблемы прочности. –1982. –№ 7. –С. 102-104.
9. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин // Разрушение; ред. Г. Либовиц. –М., 1975. –Т. 2. –С. 372-430.
10. Берри Дж. Разрушение стеклообразных полимеров // Разрушение; ред. Г. Либовиц. –М., 1976. –Т. 7. –С. 7-66.