

РЕЗИНОВЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

У статті розглядається рішення аналітичної задачі про взаємодію зносостійкого елемента з матеріалом, що переробляється з метою вибору оптимальної товщини зносостійких елементів.

Рассматриваемой проблеме посвящены многочисленные публикации, в том числе и с участием автора [1-10]. В цитируемых монографиях излагаются различные конструкции износостойких футеровок и покрытий, даны рекомендации по выбору их параметров и подходящего материала, приведены результаты многолетних исследований. Тем не менее, проблема остается во многом не решенной. На взгляд автора наиболее актуальными задачами остаются следующие:

1. Не решена проблема выбора оптимальной толщины износостойких элементов. Известно, и это подтверждено многолетней практикой, что для большинства горно-металлургических машин долговечность резиновой футеровки зависит от ее толщины. Однако особенности технологических процессов горных машин (например, ограничения по толщине футеровок в рудоизмельчительных мельницах) и, прежде всего, экономические показатели, заставляют назначать приемлемую толщину футеровки, определяемую, как правило, из соображений крупности перерабатываемого материала, высоты его падения и т.д. И далеко не всегда такие соображения приводят к желаемым результатам; износостойкий элемент может оказаться непригодным для практики именно вследствие назначения заниженной толщины в зоне интенсивных нагрузок.

Поэтому важным является решение аналитической задачи о взаимодействии износостойкого элемента с перерабатываемым материалом. Как правило в этом случае рассматривают две задачи: задачу о сжатии соприкасающихся тел, т.е. вдавливании металлического шара или куска руды в резиновую футеровку, и задачу о ударе шара о плоскость.

Первая задача сводится к решению системы уравнений, имеющих общий вид.

$$\begin{aligned}\Delta^2 u + \frac{1}{1-2\mu} \frac{\partial \Delta}{\partial x} &= 0; \\ \Delta^2 v + \frac{1}{1-2\mu} \frac{\partial \Delta}{\partial y} &= 0; \\ \Delta^2 w + \frac{1}{1-2\mu} \frac{\partial \Delta}{\partial z} &= 0;\end{aligned}$$

где: u, v, w – проекция перемещений на оси x, y, z ; μ – коэффициент Пуассона; Δ – оператор Лапласа.

В этом случае касательные напряжения

$$\begin{aligned}\tau_{xz} &= G \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 2G \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Pi}{\partial z} + \frac{4(1-\mu^2)}{E} P \right); \\ \tau_{yz} &= G \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 2G \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \Pi}{\partial z} + \frac{4(1-\mu^2)}{E} P \right).\end{aligned}$$

При $E = 2G(1+\mu)$ получим

$$\begin{aligned}\tau_{xz} &= -2z \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial z}; \\ \tau_{yz} &= -2z \frac{\partial^2 P}{\partial y \partial z}.\end{aligned}$$

На поверхности соприкасающихся тел при $z = 0$ $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$.
Нормальное напряжение

$$\sigma_z = 2G \left(\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\mu}{1-2\mu} \Delta \right);$$

или

$$\sigma_z = -2 \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial P}{\partial z}.$$

На поверхности тел

$$\sigma_2 = 2 \frac{\partial P}{\partial z}.$$

В приведенных уравнениях приняты: E – модуль упругости; G – модуль сдвига; P – некоторая функция, удовлетворяющая уравнению Лапласа и являющаяся потенциалом бесконечно сжатого эллипсоида, контуром которого служит эллипс давления; Π – некоторая функция

$$\Pi_1 = -\frac{1}{G_1} zP + \frac{1-2\mu_1}{G_1} \int_z^\infty P dz;$$

$$\Pi_2 = -\frac{1}{G_2} zP + \frac{1-2\mu_2}{G_2} \int_z^{\infty} Pdz.$$

Здесь знаки 1 и 2 относятся соответственно к соприкасающимся телам.

Решая приведенные выше уравнения, можно получить величины касательных и нормальных напряжений и величину сближения тел, т.е. величину вдавливания в резиновую футеровку контртела.

Что касается второй задачи об ударе шара о плоскость, то она достаточно подробно изложена в работах Герца, Беляева и других исследователей; для резиновой футеровки вариант приближенного решения дан в [3].

2. Отсутствуют универсальные и надежные методы крепления износостойких элементов к примыкающим металлическим поверхностям машин. Известные методы крепления с помощью металлической арматуры с Т-образным или другой формы профилем (обычно арматура присоединена к резиновой футеровке в процессе вулканизации) являются достаточно надежными, но имеют важный недостаток: само крепление по толщине занимает 30 % и более от общей толщины футеровочных элементов. К тому же, именно в местах крепления наблюдается наиболее интенсивный износ резины, что вполне понятно. Поэтому нередко отказ износостойкого элемента происходит по причине износа в местах крепления, в то время как сам элемент пригоден к дальнейшей эксплуатации. Метод крепления с помощью системы «винт – гайка» сам по себе универсален и очень прост, но обладает малой надежностью по причине релаксационных процессов в резине, ослабляющих со временем узел крепления; применяется этот метод в основном для малоответственных узлов. Метод присоединения резины к металлу с помощью клеев используется в основном для тонких покрытий.

3. Остается весьма важной проблема выбора подходящего износостойкого материала; физико-механическими параметрами резин с помощью изменения их состава и режима вулканизации можно варьировать в довольно широких пределах. Однако выбор оптимального сочетания известной триады «упругие свойства – диссипативные свойства – износостойкость» требует либо наличия большого экспериментального материала, либо наличия промышленного опыта. Поэтому так важно решение задачи о выборе материала, обладающего оптимальными свойствами. В механике решение такой задачи обыч-

но сводится к решению более общей задачи: – выбору параметра и формы износостойкого элемента и определению его долговечности.

4. Отсутствуют достаточно полные и приемлемые для инженерной практики физические и математические модели разрушения резиновых элементов. При взаимодействии таких элементов с перерабатываемой средой разрушение поверхности элемента происходит, как правило, вследствие одновременного действия двух основных процессов; абразивного износа, т.е. истирания и массопереноса резины и усталости от многократных ударов перерабатываемого материала о поверхность элемента. Такое многофакторное воздействие приводит к усилению эффекта разрушения, т.к. истирание резины с каждым циклом ударной нагрузки происходит по уже ослабленному материалу. Положение усугубляется и тем фактором, что в местах ударов возникает довольно большие касательные напряжения, приводящие к образованию и развитию усталостных трещин, что снижает сопротивление материала абразивному износу.

Этой важной проблеме посвящены работы Бартенева, Шалламаха, Крагельского, Палмгрена, Чижики и многих других [1-6]. Все эти исследователи сходятся во мнении, что для резины существует, по крайней мере, три основных вида разрушения.

а) Катастрофическое разрушение. Сюда относятся пробой, возникающий вследствие взаимодействия футеровки малой толщины с крупнокусковым материалом; интенсивный абразивный износ, возникающий вследствие большой нагрузки на футеровку абразивного материала – если футеровка не обладает достаточной устойчивостью против порезов, а резина имеет низкую энергию распространения трещин, то износ может принять катастрофические формы; износ вследствие скатывания, возникающий при больших давлениях со стороны перерабатываемого материала и, как следствие, возникновение явления адгезии, т.е. прилипания частиц резины к контртелу, что приводит к отделению частиц футеровки от массива. Этот вид разрушения износостойких элементов обычно устраняется методами конструирования, выбора правильных углов атаки, назначения оптимальной толщины и т.д.

б) Разрушение вследствие воздействия активной внешней среды. Тепловые поля и химически активные вещества могут отрицательно влиять на прочностные свойства футеровки. Обычно резина имеет высокую степень сопротивляемости таким воздействиям, однако при наличии абразивно-усталостного износа и температура и активная

внешняя среда могут существенно влиять на ускорение процесса разрушения, а в некоторых случаях и определять как характер разрушения, так и долговечность износостойких элементов в целом.

в) Абразивно-усталостный износ. Это наиболее распространенный вид износа для большинства защитных футеровок и покрытий. Усталостные свойства массивных резиновых конструкций при циклических нагрузках изучены в работах [2,3]; полученные результаты могут быть распространены и на резиновые футеровки. Однако сочетания усталостных явлений и абразивного износа ставит перед исследователями не только трудно решаемые задачи, но и приводит к появлению эффектов, совершенно отличных по своей сущности и требующих самостоятельных подходов и критериев.

Известно, что резина и полиуретаны являются уникальными материалами, хорошо противостоящими именно этому виду износа. Известно также [2,3], что в основе этой способности лежат упругие и диссипативные свойства резин. Имеются феноменологические модели [3] разрушения резины при абразивно-усталостном износе. Однако следует подчеркнуть, что до сегодняшнего дня отсутствует многокритериальный подход, позволяющий с единых позиций механики разрушения оценить всю сложность и многообразие физических процессов, происходящих при абразивно-усталостном износе резины.

Как видно, перечисленные задачи сводятся к рассмотрению взаимодействия износостойких элементов с перерабатываемой средой на основе комплексного подхода как к вопросам механики деформирования и разрушения резины, так и к вопросам переработки полезных ископаемых.

Проблема транспортировки, дробления, измельчения и обогащения минерального сырья весьма разнообразны и требуют индивидуального подхода в каждом конкретном случае.

Ниже рассмотрены некоторые примеры использования износостойких элементов, в основном, типа призматических плит, для защиты от износа и ударных нагрузок таких распространенных в горном деле устройств как бункеры, питатели, перегрузочные пункты, течи и т.д.

Одним из условий эффективной работы дробилок, мельниц, грохотов, а также обогатительных машин в заданном режиме является обеспечение равномерности подачи материала при сохранении определенной производительности. Для этой цели используют загрузочные устройства, состоящие из бункеров в сочетании с питателями и

направляющими элементами (лотками, отбойными и ограничивающими щитками). Бункера выполняют функции аккумулирующих, усредняющих и регулирующих грузопоток устройств. Питатели осуществляют принудительную выгрузку заданных порций материала из бункеров и выполняют функцию перегружателей.

Бункера изготавливают металлическими, железобетонными, деревянными или комбинированными. В условиях горно-обогательных предприятий повсеместно распространены металлические бункера, которые имеют сравнительно небольшую массу, а их опоры занимают мало места. Изготавливают их на заводах индустриальными методами с последующей сборкой стандартных частей на месте установки.

В процессе эксплуатации стенки бункеров находятся в постоянном контакте с перемещающимися высокоабразивными и влажными частицами материалов, что обуславливает их интенсивный износ. Для снижения износов стенок бункеров широко применяют футеровки из резины.

Исследования и опыт эксплуатации резиновой футеровки в обогащении показывают, что наименьший износ происходит при углах атаки, равных 90° и 0° .

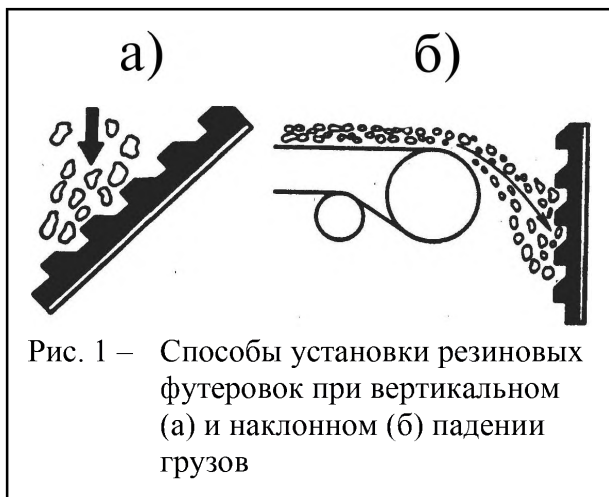
Большое влияние на износостойкость резиновой футеровки оказывает ее толщина, которую выбирают в зависимости от максимального размера куска материала и высоты его свободного падения. Если толщина слоя резины слишком мала, то в месте поглощения энергии удара кусков возникают слишком большие растягивающие напряжения, обуславливающие разрывы резины (пробои) и быстрое разрушение футеровки.

Футеровка выполнена в виде гладких пластин с углублениями различной формы (круглые, прямоугольные, фигурные, продольные и т.д.) для крепежа, а также специальных ребристых пластин с пазами для крепежных деталей.

При эксплуатации таких футеровок необходимо учитывать следующие требования, обеспечивающие наилучшее использование свойств резины.

1. Материал должен падать на резиновую футеровку под углом, близким к прямому. Если это невозможно осуществить, то необходимо применить ребристую футеровку (рисунок 1).

2. Высота свободного падения материала не должна превышать 3-4 м.



3. Толщина резиновых листов должна быть подобрана с учетом массы падающих кусков материала и высоты свободного падения (таблица).

Опытно-промышленную проверку конструкций резиновых футеровок проводили на различных горно-перерабатывающих предприятиях. В результате испытаний установлено, что замена металлической футеровки на резиновую целесообразна при следующих условиях: энергия удара материала до 80-100 Дж, скорость до 5-6 м/с и относительное сжатие футеровки до 0,25-0,3.

Таблица – Рекомендуемые размеры резиновой футеровки в зависимости от крупности материала (падение груза с высоты до 3 м и плотность до 2-4 т/м³)

Крупность материала, мм	Толщина резиновых плит, мм	Размер плит, мм	Крупность материала, мм	Толщина резиновых плит, мм	Размер плит, мм
0-25	20-30	1500/1000	125-200	75-90	1000/500
25-50	30-40	1000/5000	200-350	90-100	1500/750
		996/498			1000/500
		1080/500			1000/380
50-80	40-55	1000/500			1470/475
80-125	55-75	1000/500			

На основе данных промышленных испытаний и проведенного анализа состояния и характера износа резиновой футеровки выявлены следующие преимущества их по сравнению с металлическими:

- срок службы больше в 2-3 раза;
- увеличен в 2-4 раза межремонтный период оборудования;
- снижены на 26-30 % трудозатраты на перефутеровочные работы;
- сокращено время простоя оборудования при ремонте на 30 %;
- улучшились условия труда обслуживающего и ремонтного персонала (снизился уровень шума, уменьшилось пылеобразование и т.д.);
- повысилась стабильность работы оборудования из-за отсутствия налипания материала. Бункера с гравитационной разгрузкой не имеют специальных разгрузочных устройств; груз из них поступает непосредственно на полотно расположенного внизу пластинчатого питателя. В системе бункер – питатель наклон стенок бункера и размер выходного отверстия должны быть подобраны так, чтобы выпуск материала точно

соответствовал производительности питателя, а грузопоток был стабильным. В бункерных установках широко применяют средства гравитационного (самотечного) транспорта, к которому относятся перепускные желоба, лотки, каскадные и винтовые спуски.

В условиях горно-обогатительных комбинатов наиболее широко распространены лотки и желоба различного сечения.

На горно-обогатительных предприятиях в качестве футеровочных материалов для перепускных желобов и лотков используют, как правило, те же материалы, что и для футерования бункеров. Например, на Камыш-Бурунском ГОКе применяют железобетонные лотки, днища которых выстилают конвейерной лентой. На Северном ГОКе боковые стенки и днища желобов футеруют резиновыми плитами. Для защиты пульповых желобов, находящихся на открытом воздухе были испытаны длинномерные (200 м и более) резиновые футеровки с завулканизированными тросами, которые удобно крепятся и сохраняют форму желоба. Такая конструкция позволяет значительно упростить монтаж и демонтаж футеровки, а в случае налипания материала – разрушить скопление абразива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. - М.: Химия, 1984. -280 с.
2. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. -М.: Машиностроение, 1977. -216 с.
3. Дырда В.И., Чижик Е.Ф. Резиновые детали в машиностроении. -Днепропетровск: Полиграфист, 2000. -582 с.
4. Стенмарк Б., Мерклунд Г. Резиновые футеровочные элементы для шламовых насосов и флотационных установок // Семинар скега, январь 1977. -М. -33 с.
5. Крагельский И.В. О природе трения полимеров // Механика полимеров. -1972. -№ 5. -С.797-808.
6. Утияма Ё., Процесс истирания полимерных материалов // Дзюнкацу. -1973. -Т. 18, № 4. -С. 294-304.
7. Применение износостойких резин для повышения долговечности оборудования в цветной металлургии.-М.: ЦНИИцветмет, 1983.-52 с.
8. Чижик Е.Ф., Шолин М.К., Костенко В.А. Опыт применения резиновых футеровок // Экспресс-информация ВНИИЭСМ. -М.: 1987.-Серия 7, Вып.9. -С. 6-9.
9. Шолин М.К., Чижик Е.Ф. Повышение долговечности кузовов // Металлургическая и горнорудная промышленность.-1990. -№ 2. -С. 40-42.
10. Чижик Е.Ф., Шолин М.К. Бункера, питатели и гравитационные устройства // Повышение износостойкости горнообогатительного оборудования; Под редакцией Н.С. Пенкина. -М.: Недра, 1992. -С. 252-256.