УДК 622.733

Джирма С.А., Настоящий В.А.
Институт сельскохозяйственного машиностроения, Кировоград

Тарасенко А.А.
Национальная горная академия Украины

К вопросу прогнозирования долговечности резиновых поверхностей измельчительного и транспортного оборудования работающих в условиях ударно-абразивного износа

При проектировании защитных фтеровок и поверхностей оборудования актуальной задачей является прогнозирование срока службы защитной поверхности.

При рассмотрении процесса изнашивания эластомеров потоком абразивных частиц считают, что износ и разрушение поверхности зависят от той части кинетической энергии, которая была потеряна частицами при ударе [1].

Для отдельной частицы энергия удара равна потеряной кинетической энергии

$$Э_T = \frac{m}{2}\left(\upsilon_1^2 - \upsilon_2^2\right), \tag{1}$$

где m — масса частицы, υ_1 — скорость удара частицы, υ_2 — скорость отскока частицы.

По гипотезе Ньютона

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = K, \tag{2}$$

где K — коэффициент востановления, определяемый экспериментально.

При свободном падении частиц на плоскость

$$K = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \sqrt{\frac{2gh_2}{2gh_1}} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}. \tag{3}$$

Для резины отношение $h_2/h_1 \cdot 100 = e$ не что иное как эластичность, также определяемая экспериментально.

Тогда, решая совместно уравнения (1, 2, 3) и принимая во внимание, что масса частицы $m = \frac{\pi D^3}{6g}\gamma_1$ для потеряной кинетической энергии частицы при ударе о плоскость получим уравнения:

для стальной плоскости

$$Э_{cm} = \frac{\pi D^3 \gamma_1 \upsilon_1^2}{12g}\left(1 - K^2\right); \tag{4}$$

для резиновой плоскости

$$Э_p = \frac{\pi D^3 \gamma_1 \upsilon_1^2}{12g}\left(1 - \frac{e}{100}\right), \tag{5}$$

где D — диаметр частицы, γ_1 — плотность частицы, g-ускорение силы тяжести.

Приведенные зависимости дают качественную оценку износостойкости поверхностей, позволяют обосновать преимущества резиновых защитных покрытий перед стальными, однако не объясняют, например причин разрушения поверхностей, имеющих место даже при обеспечении уровня амплитудных контактных напряжений ниже уровня пределов прочности материала. Для объяснения этого явления воспользуемся подходом, применяемым при разработке механизма взрывного разрушения горных пород [2].

Считаем, что передача энергии при внедрении в поверхность частиц сферической Формы аналогична передаче энергии среде при взрыве сферического заряда, и учитываем только поперечные ударные волны.

В этом случае величина передаваемой среде кинетической энергии

$$Э = \rho f(R) e^{-2\beta\tau} \sin P\tau$$

где $f(R)$ — функция расстолния, β — коэффициент затухания, τ — "отсчет времени с момента прихода волны, P-циклическая частота импульса, ρ — плотность материала.

Циклическая частота импульса определяется по формуле

$$P = \frac{Q}{R}\sqrt{\frac{2ER}{\eta a} - 1}, \tag{7}$$

где a — скорость продольной волны, E — модуль упругости первот рода, η — коэффициент динамической вязкости.

Длина волны определяется из условия

$$P\tau = \pi k, \tag{8}$$

где $K = 1, 2, 3...$ числа натурального ряда.

Подставляя в (8) значение по (7) имеем

$$\pi k = \frac{a\tau}{R}\sqrt{\frac{2ER}{\eta a} - 1}. \tag{9}$$

Уравнение (9) распадается на два уравнения

$$\frac{a\tau}{R} = \pi; \tag{10}$$

$$\sqrt{\frac{2ER}{\eta a}} = K. \tag{11}$$

В уравнении (10) произведение $a\,\tau$ представляет собой длину волны на растоянии R от центра контакта. В уравнении (11) величина K является порядковым номером волны.

Из уравнения (11) находим расстояние, на которое переместилась волна к моменту τ

$$R = \frac{\eta a\left(k^2 + 1\right)}{2E}. \tag{12}$$

Соответственно время действия волны на расстоянии R равно

$$\tau = \frac{\pi R}{a}. \tag{13}$$

Введем обозначение

$$\frac{\eta a}{2E} = M, \tag{14}$$

M — есть метрика пространства применительно к конкретным условиям удара.

Перепишем Формулы (12) и (13) к виду

$$R = M\left(k^2 + 1\right); \tag{15}$$

$$\tau = \frac{\pi M\left(k^2 + 1\right)}{a}. \tag{16}$$

В таком виде формула (15) выражает расстояние в метриках M, а формула (16) — продолжительность действия волны на расстоянии R.

Соответственно частота ν равна

$$\nu = \frac{1}{\tau} = \frac{a}{\pi M\left(k^2 + 1\right)}. \tag{17}$$

Величина плотности энергии, выраженная через частоту

$$Э = H\nu^2 = \frac{Ha^2}{\pi^2 M^2\left(k^2 + 1\right)}. \tag{18}$$

Используя начальные условия ($K = 0$; $Э - Э_T$) находим постоянную H

$$H = \pi^2 M^2 \frac{Э_T}{a^2}, \tag{19}$$

где $Э_T$ – плотность энергии в зоне контакта частицы с поверхностью определяется по (4, 5).

С учетом (18) формула (18) принимает вид

$$Э = \frac{Э_T}{\left(k^2 + 1\right)^2} . \qquad (20)$$

Таким образом получается обобшенное пространство существования зон концентрации энергии, выражаемое в метриках расстояния M, т.е. $1M$, $5M$, $10M$, $17M$, $26M$, $37M$, $50M$.

Соответствукшие им значения плотности энергии выраженные в долях от начальной плотности энергии удара равны $Э_T$, $Э_T/4$, $Э_T/26$, $Э_T/100$, $Э_T/289$, $Э_T/676$, $Э_T/1389$, $Э_T/2500$... .

Если плотность энергии в зоне контакта меньше теоретической энергоемкости разрушения, метрика расстояния принимается равной радиусу зоны контакта, расчитываемой согласно (3) по формуле

$$r = 0{,}66D\rho^{1/5}\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)^{1/5} \upsilon_1^{2/5} . \qquad (21)$$

Рассмотрим применение полученных зависимостей для случая внедрения абразивной частицы в металлическую и резиновую поверхность.

Характеристика частицы: размер $D = 0{,}004$ м; скорость υ – 10 м/с; модуль упругости $E = 4{,}6 \cdot 10^{10}$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}2$; плотность $\rho = 2000$ кг/м^3.

Характеристика металлической поверхности: модуль упругости $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}2$.

Характеристика резиновой поверхности: модуль упругости $E = 1{,}5 \cdot 10^6$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}5$.

Амплитудные нормальные напряжения на поверхности контура давления при внедрении частицы в поверхность определяются по формуле, приведенной в [3]

$$\sigma_0 = 1{,}65\rho^{1/5} \frac{1}{\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)^{4/5}} \upsilon_1^{2/5} . \qquad (22)$$

Рассчеты по формулам (21, 22) показывает, что при внедрении частицы в металлическую поверхность радиус контакта составляет $r_1 = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ м, напряжение $\sigma_1 = 92{,}8$ МПа; при внедрении частицы в резиновую поверхность соответственно: $r_2 = 0{,}0012$ м, $\sigma_2 = 0{,}33$ МПа.

Для случая контакта частицы с металлической поверхностью обобщенное пространство, выраженное в метриках, составляет: $8 \cdot 10^{-4}$ м; $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ м; $2{,}72 \cdot 10^{-3}$ м; $4{,}16 \cdot 10^{-3}$ м; $5{,}92 \cdot 10^{-3}$ м; $8 \cdot 10^{-3}$ м, а для случая контакта с резиновой поверхностью: $6 \cdot 10^{-3}$ м; $12 \cdot 10^{-3}$ м; $20{,}4 \cdot 10^{-3}$ м; $31{,}2 \cdot 10^{-3}$ м; $44{,}4 \cdot 10^{-3}$ м; $60 \cdot 10^{-3}$ м.

Таким образом при контакте потока абразивных частиц с металлической поверхностью размер метрики M оказывается значительно меньшим, чем при контакте с резиновой поверхностью. Что касается распределения распределения энергии по зонам, оно индентично для обоих случаев.

Следствием этого является:

– плотность энергии, воспринимаемой единицей площади металлической поверхности при ударах потоком абразивных частиц существенно выше, чем для резиновой поверхности;

– в случае контакта потока частиц с металлической поверхностью велика вероятность совпадения зон контакта одних частиц с зонами концентрации энергии, возникающими при соударении с поверхностью других частиц. В результате контактные напряжения могут превышать пределы прочности материала, даже в том случае, если контактные напряжения от падения каждой частицы ниже допускаемых напряжений.

Предложенные теоретические положения после проведения экспериментальных исследований могут быть положены в основу разработки методик обеспечения ударной и ударно-абразивной прочности рабочих поверхностей технологического оборудования.

В дальнейших исследованиях предполагается рассмотреть на основе данного подхода процесс взаимодействия резиновых поверхностей с мелющими шарами, имеющим место в мельницах и разработать методику определения размеров резиновых футеровочных элементов в зависимости от условий их нагружения.

Библиографический список

[1] Пенкин Н.С. Гуммирование деталей машин. - М.: Машиностроение. 1977. - 200 с.

[2] Клочков В.Ф. Определение размеров зон разрушения при взрыве зарядов ВВ в горном массиве. Деп. в ГНТБ Украины № 972. Ук. 93.

[3] Пенкин Н.С. Гуммирование деталей машин. - М.: Машиностроение. - 1977.

♦

УДК 622.236.73

Войтенко А.Е., Кульчицкий А.В., Новоселов Н.П.
Национальная горная академия Украины

Разупрочняющее воздействие магнитного поля на магнитострикционно-активные материалы

В Национальной горной академии Украины в течение нескольких лет ведутся работы по определению действия переменного магнитного поля на твердые вещества, в состав которых входят компоненты, обладающие свойством магнитострикции, например, на магнетитовые кварциты [1, 2]. Основная цель этих исследований – разупрочнение железной руды, т.е. уменьшение удельной энергоемкости ее последующего измельчения. В ранее проведенных опытах использовалось переменное магнитное поле, в котором находились неподвижные кусочки руды.

В порядке изучения различных режимов магнитного разупрочнения железной руды проведены исследования при вращении образцов в постоянном магнитном поле и в условиях резонанса частот.

Переход к постоянному магнитному полю позволил использовать более сильные магнитные поля. А так как продольная и поперечная магнитострикция отличаются знаком, то вращение образца создает в области зерен магнетита знакопеременные механические нагрузки в отличие от пульсирующих нагрузок в переменном поле.

После обработки в магнитном поле кусочки руды измельчались на приборе для определения крепости горных пород (ПОКе), затем проводился гранулометрический анализ продукта измельчения, рассчитывалась вновь открытая при измельчении поверхность и определялась удельная энергоемкость открытия новой поверхности.

N	0	$1{,}2.10^3$	$6{,}4.10^4$	$1{,}2.10^5$
E(N), Дж/м^2	1374	1335	1269	1209
S, Дж/м^2	30	43	36	39
E(N)/E(0), %	100	97,2	92,4	88,0
s, %	0	3,8	3,3	3,4

Результаты экспериментов приведены в таблице, где