

Калганков Є.В., аспірант
Цаніді І.М., магістр
(ІГТМ НАН України)

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГУМОВОЇ ФУТЕРОВКИ

Калганков Е.В., аспірант
Цаниди И.Н., магістр
(ИГТМ НАН Украины)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКИ

Kalgankov Ye.V., Ph. D. Student
Tsanidy I.N., M. Sc. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF RUBBER LININGS DURABILITY

Анотація. В статті розглянуто проблеми забезпечення довговічності гумових футеровок шарових барабанних млинів. Встановлено основні види та характер зносу гумової футеровки, що виникають в процесі роботи млина та виділено найбільш актуальні, що суттєво впливають на довговічність футеровки, а саме гідро-абразивно-втомний знос який утворює хвилясту поверхню матеріалу.

Наведено методику та результати визначення ступеня зносу матеріалу за енергетичним критерієм руйнування. Обчислено енергію руйнування в одиниці об'єму матеріалу від дії абразивного та втомного зносів. Пропонується отримані дані використовувати в розрахунку довговічності гумових футеровок.

Ключові слова: довговічність, знос, гумова футеровка, енергія руйнування, втомний знос, гідро-абразивний знос, стадія подрібнення, млин

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Гумова футеровка – є складним і відповідальним елементом конструкції млина, вона характеризується довгим терміном роботи який в 2-2,5 рази перевищує, термін роботи металеві футеровки і має суттєві переваги [1, 2]. Використання гумової футеровки почалось з початку 60 х років минулого століття Швецькою компанією «Skega AB».

Довговічність перших гумових футеровок складала 1-3 тисячі годин, на сьогодні цей показник виріс в десятки разів і становить 25-30 тисяч годин для другої стадії подрібнення [1, 2]. Але такого строку служби вдається досягти не всім виробникам і на сьогодні питання забезпечення довговічності стоїть досить гостро. Особливо це стосується першої стадії подрібнення на яку припадають найбільші навантаження та витрати.

Аналіз досліджень та публікацій. С початку використання гуми в якості матеріала для футеровок, вчені досить скептично ставились до доцільності заміни металеві футеровки на гумову [3]. За майже 70 років розвитку та впровадження гумових футеровок було проведено багато досліджень, розроблено різні типи та форми футеровок [2, 4], проведено аналіз можливості їх застосування але однозначності щодо забезпечення довговічності гумових футеровок серед вчених немає.

Метою роботи є – дослідження довговічності гумової футеровки на першій стадії подрібнення.

Теоретичні засади виникнення та протікання різних процесів зношування детально розглянуті в роботі [2]. Для обстеженої футеровки привалюючим є гідро-абразивний та втомний зноси, так як інші види зносу передбачають тривале протікання процесу, враховуючи тривалість проведення експерименту кавітаційний та корозійний зноси не суттєво впливають на роботу млина.

Втомний знос. Втомне зношування є найбільш небезпечним і збільшується з ростом тиску й модуля пружності, з погіршенням втомних властивостей гуми й зменшенням опору роздиру. Втомне зношування виникає внаслідок багаторазових ударів кульок, породи та царапання гострими кромками породи. На рис. 1, рис. 2 видно місця втомного руйнування гуми внаслідок багаторазових ударів кусків породи та кульок.

Також про втомне руйнування футеровки свідчать результати лабораторних випробувань елементів футеровки, які відбирались в процесі обстеження млина і мали сліди деструкції.

Температурне зношування. В області контакту завантаження й гумової футеровки завжди виникає температурне поле. На думку авторів робіт [2] температура в зоні контакту може перевищувати 70 °С; у рідких випадках доходить до 100 °С і більше.

Але температурне зношування в чистому виді майже не зустрічається, скоріш за все підвищення температури призводить до прискорення процесів старіння гуми і як наслідок її прискорене руйнування внаслідок дії втомно-абразивного зносу.

Гідро-абразивний знос. На плитах виявлено явні сліди царапання та роздирів (рис. 3), при чому сліди роздирів більш явні ближче до завантаження, а ближче до решітки вивантаження наявно багато царапин, звісно і глибина канавок до вивантаження зменшується.

Також встановлено хвильовий характер зносу футеровочних плит, при чому хвиляста поверхня утворюється уже в перші тижні роботи і з послідуною наробіткою тільки збільшується і стає чіткішою (рис. 4, рис. 5).

Експериментальні дослідження. Згідно рекомендацій [2] визначати довговічність роботи гумових футеровок доцільно за енергетичним критерієм. Для цього необхідно визначити енергію руйнування зразка та підрахувати довговічність роботи футеровки.

Дослідження виконувались на модернізованій експериментальній установці МИ-2 (рис. б) зі стандартними зразками з гуми марки А.



Рисунок 1 – Сліди втомного руйнування гумової футеровки 3 ряд від завантаження



Рисунок 2 – Сліди втомного руйнування гумової решітки вивантаження

Зразки були взяті під час обстеження футеровок та по закінченню її терміну служби. Дослідження проводились згідно ГОСТ 344-74. Режими роботи установки наступні:

Сила тертя $F = 16$ Н;

Час стирання $t = 164$ с;

Швидкість стирання $V = 0,35$ м/с.

Установка була оснащена індукційним датчиком та тахометром для фіксації кількості обертів диску. Контроль температури зразків під час стирання проводився хромель-копелевими термопарами, які фіксували температуру в зоні тертя. Фіксація температури та обертів відбувалась через перетворювач на ПОМ. В результаті стирання зразків отримано окремі агрегати гуми, які мали середню вагу 0,3 г; середній діаметр часток складав 0,4 мм, кількість частинок зносу $n = 11,227 \cdot 10^3$. Розміри та форма часток визначалась за допомогою інструментального мікроскопу. Враховуючи об'єм однієї частки їх кількість в одному метрі кубічному складає $n^* = 22 \cdot 10^9$ м⁻³.

В цьому випадку енергія руйнування одного фрагменту гуми (енергія відділення його від матриці) складе:



1 – машина тертя МИ-2, 2 – перетворювач, 3 – ПОМ, 4 – індукційний датчик обертів, 5 – термопари

Рисунок 6 – Загальний вигляд експериментальної установки

$$U_0 = \frac{F \cdot V \cdot t}{n} = \frac{16 \cdot 0,35 \cdot 164}{11,227 \cdot 10^3} = 81,8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.} \quad (1)$$

Щільність енергії руйнування від абразивного зносу, буде

$$\Delta U_{\text{зн}} = U_0 \cdot n^* = 81,8 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \cdot 10^9 = 0,18 \cdot 10^{10} \text{ Дж/м}^3. \quad (2)$$

Дані для розрахунку довговічності гумової футеровки.

1. Млин МШР 3,6×4,0; кулі діаметром 100 мм; швидкість обертання барабана $\omega = 19,8$ об./хв ($\omega/60 = 0,33$ циклів/с).

2. Гумова футеровка «Плита-плита»; максимальна висота плит $h_{\phi} = 270$ мм; відносний стиск $\varepsilon = 0,046$; коефіцієнт, що характеризує профіль футеровки $\eta_{\phi} = 1,15$; коефіцієнт не симетрії завантаження по довжині млина $\delta_m = 1,1$.

3. Гума типу А з наступними фізико-механічними характеристиками: динамічний модуль Юнга $E_{\phi} = 5,8 \cdot 10^6$ Па; коефіцієнт дисипації енергії $\psi = 0,66$; коефіцієнт $\eta_T = 0,72$; функція розподілу полів напруги й деформації згідно з розрахунками за методикою [2] $f(x, y, z) = 1,23 \div 1,45$.

4. Експериментально знайдена сумарна енергія руйнування гумової футеровки при абразивно-втомному механізмі зношування

$$\Delta U_p^* = \Delta U_y^* + \Delta U_{zn}^* = (1,34 + 0,18) \cdot 10^{10} = 1,52 \cdot 10^{10} \text{ Дж/м}^3. \quad (3)$$

З урахуванням цих даних кількість циклів до локального руйнування гумової футеровки визначаємо як:

$$N^* = \frac{\delta_m \cdot \eta_{\phi} \cdot \Delta U_p^*}{0,5 \cdot E_{\phi} \cdot \varepsilon^2 \cdot \psi \cdot (1 - \eta_T) \cdot f(x, y, z)} =$$

$$= \frac{1,10 \cdot 1,15 \cdot 1,52 \cdot 10^{10}}{0,5 \cdot 5,8 \cdot 10^6 \cdot 0,046^2 \cdot 0,66 \cdot 0,28 \cdot 1,4} = 0,121 \cdot 10^8 \text{ циклів}, \quad (4)$$

або

$$t^* = \frac{N^*}{\omega} = \frac{0,121 \cdot 10^8}{0,33} = 0,367 \cdot 10^8 \text{ с} = 10277 \text{ год}. \quad (5)$$

Експериментально знайдена локальна довговічність гумової футеровки складає 6-7 тис. годин.

Як видно отримані данні шляхом промислового експерименту та лабораторними дослідженнями цілком задовільні.

Висновок.

1. Визначено характерні види та характер зносу гумових футеровок, що застосовуються на першій стадії подрібнення, а саме це гідро-абразивно-втомний знос з хвилястим утворенням робочої поверхні.

2. Для досліджуваної футеровки виготовленої з гуми марки А встановлено питому енергію руйнування $\Delta U_{zn} = 0,18 \cdot 10^{10} \text{ Дж/м}^3$.

3. Встановлено сумарну енергію руйнування гумової футеровки від дії абразивного та втомного зносів $\Delta U_p^* = 1,52 \cdot 10^{10} \text{ Дж/м}^3$.

4. Для млина МШР 3,6×4,0 з кульками $\varnothing 100$ мм встановлено експериментальну та розрахункову довговічність які відповідно становлять 6-7 тис. годин та 10277 годин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калганков, Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Е.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Вып. 113. – С. 181-202.
2. Дырда, В.И. Резиновые футеровки технологических машин / В.И. Дырда, Р.П. Зозуля. – Москва – Днепропетровск, 2013. – 237 с.
3. Крюков, Д.К. Футеровки шаровых мельниц / Д.К. Крюков. – М.: Машиностроение, 1965. – 181 с.
4. Маляров, П.В. Исследование режимов работы шаровых мельниц с целью разработки износостойких профилей футеровочных плит / П.В. Маляров. – Автореф. дис.. канд. техн. наук: 05.05.06. – Ленинград, 1980.

REFERENCES

1. Kalgankov, Ye.V. (2013), "Calculation of durability of rubber linings of ball grinding mills with a view of rubber aging", *Geo-Technical Mechanics*, no. 113, pp. 181-202.
2. Dyrda, V.I. and Zozulya, R.P. (2013), *Rezinovyye futerovki tekhnologicheskikh mashin* [Rubber linings of technological machines], Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Kryukov, D.K. (1965), *Futerovki sharovykh mel'nits* [Ball mills lining], Moscow, USSR.
4. Malyarov, P.V. (1980), "Study of operating modes of ball mills in order to develop wear resistant profiles of lining plates", Abstract of Ph. D. dissertation, Leningrad, USSR.

Про авторів

Калганков Євген Васильович, аспірант, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпропетровськ, Україна

Цаніді Іван Миколайович, інженер, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпропетровськ, Україна

About the authors

Kalgankov Evgeniy Vasilyevich, Ph. D. Student in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Tsanidy Ivan Nikolaevich, Master of Science, Senior Teacher Department «Reliability and repair of machinery», Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы обеспечения долговечности резиновых футеровок шаровых барабанных мельниц. Установлены основные виды и характер износа резиновой футеровки, возникающие в процессе работы мельницы и выделены наиболее актуальные, которые существенно влияют на долговечность футеровки, а именно гидро-абразивно-усталостный износ образующий волнистую поверхность материала.

Приведена методика и результаты определения степени износа материала по энергетическим критерием разрушения. Вычислено энергию разрушения в единице объема материала от воздействия абразивного и усталостного износов. Предлагается полученные данные использовать в расчете долговечности резиновых футеровок.

Ключевые слова: долговечность, износ, резиновая футеровка, энергия разрушения, усталостный износ, гидро-абразивный износ, стадия измельчения, мельница

Abstract. This paper considers problems on ensuring durability of rubber linings in the ball drum mills. The article describes basic character and types of the rubber lining wear that arises during operation of the mill, and focuses on the most pressing types, which significantly affect the lining durability such as hydro-abrasive fatigue wear forming a wavy surface of material.

Methods for and results of determining a degree of a material wear by energy fracture criterion are presented. Fracture energy per volume unit of material caused by abrasion and fatigue wear has been calculated. It is proposed to use the findings for calculating durability of rubber linings.

Keywords: durability, wear, rubber lining, fracture energy, fatigue wear, hydro-abrasive wear, stage of grinding, mill

Статья поступила в редакцию 03.09.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.И. Дырда