УДК 622. 23: 05459

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

ЗАХИСНІ ФУТЕРІВКИ БАРАБАННИХ МЛИНІВ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ*

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

ЗАЩИТНЫЕ ФУТЕРОВКИ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ: СОВРЕМЕННОЕ СОТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

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

PROTECTIVE LINING OF DRUM MILLS: MODERN STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Анотація. Статтю присвячено проблемі розробки енерго- та ресурсоощадних технологій процесу дезінтеграції (руйнування) кусків породи до необхідного розміру або до необхідної стадії розкриття мінералів шляхом застосування захисних футерівок барабанних млинів. Аналіз літературних джерел показав, що подальше удосконалення конструкції млина чи внесення змін у технологію переробки мінеральної сировини сьогодні досяг певної межі і подальше удосконалення можливе за рахунок використання прогресивних матеріалів захисних футерівок та зміни їх морфометричних параметрів, а саме змінюючи їх форму та геометричні параметри, можливо знизити енерговитрати та отримати сировину більш тонкого помелу, що сьогодні робить переробні підприємства конкурентоспроможними.

Детально розглянуті конструкції металевих, гумових та комбінованих футерівок, особливості їх використання та перспективи розвитку. Наведено аналітичні дослідження роботи та перспективи використання комбінованих футерівок типу «Poly-Met», які впроваджуються у виробництво фірмою «Skega», що нині входить в корпорацію «Metso Minerals». Розглянуто сучасні конструкції футерівок типу «G.M-Хвиля» та «Плита-Н-Хвиля», які лягли в основу ресурсо- та енергозберігаючої RES технології дезінтеграції залізних руд, розробленої ТОВ «Валса-ГТВ», а результати їх випробувань на першій стадії подрібнення вказали на їх ефективність.

Ключові слова: барабанний млин, футерівка, морфометричні параметри, технологія, дезінтеграція, ресурсозбереження, енергозбереження, стадії подрібнення.

У гірничовидобувній та металургійній промисловості рудопідготовка в значній мірі визначає технологічні та економічні показники роботи підприємства. Щорічно в світі переробляються мільйони тон мінеральної сировини, на це витрачається до 10 % виробленої в світі енергії. В Україні зазначений показник перевищує 100 млн. тон мінеральної сировини, подрібнення якої споживає до 50…60 % всієї енергії, що витрачається на процес рудопідготовки [1].

Одним із основних процесів рудопідготовки є подрібнення – це процес дезінтеграції (руйнування) кусків породи до необхідного розміру або до необхідної стадії розкриття мінералів. Відомо чотири основні способи подрібнення – це

* © *Цаніді І.М., Калганков Є.В., 2017*

Статья посвящена 50-летию со дня основания Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

удар, розколювання, роздавлювання та стирання. Всі ці способи реалізуються завдяки різноманітним млинам та дробаркам.

Під час подрібнення руди на барабан діють ударні навантаження, відбувається абразивно-втомний знос та корозія, тому для його захисту використовують різноманітні футерівки: металеві, керамічні, гумові та інші.

За останні 150 років, з моменту патентування першого барабанного млина, було проведено багато досліджень в області конструювання захисних футерівок, розроблено сотні конструкцій, але витрати на дезінтеграцію сировини залишаються досить високими і сьогодні на фоні економічної кризи впровадження інноваційних енерго- та ресурсоощадних розробок є одним із актуальних питань. І якщо суттєво удосконалити конструкцію млина чи внести зміни у технологію переробки мінеральної сировини майже неможливо, то змінюючи матеріал захисних футерівок, їх форму та геометричні параметри, можливо не тільки отримати економію, але і отримати сировину більш тонкого помелу, що сьогодні робить переробні підприємства конкурентоспроможними.

Тому дослідження в області конструювання та використання захисних футерівок є актуальним питанням і потребує подальшого вивчення.

Метою роботи є огляд сучасного стану і ступеню використання захисних футерівок, а також перспективи їх подальшого удосконалювання та застосування.

В якості захисних футерівок, перших млинів використовувались різні матеріали (дерево, каміння, кераміка), далі з розвитком промисловості почали використовувати метал (леговані сталі, зносостійкі чавуни), який є найбільш розповсюдженим та дослідженим [2].

Металеві броньові плити активно почали використовувати на початку XX сторіччя, про, що свідчить активне патентування металевої броні різної конструкції та профілю в період з 1910 по 1940 роки. Металеву броню (футерівку) як правило виготовляють з марганцевих сталей 110Г13Л, рідше з інших марок сталей чи чавуну. З 1940-х років починається їх активне дослідження і наукове обґрунтування профілю та товщини. Вагомий внесок у розвиток досліджень металевих футерівок вніс вчений Крюков Д.К. [3], рекомендації якого в області проектування металевих захисних футерівок актуальні і сьогодні.

Металеві футерівки можна умовно розділити на два класи: для подрібнення крупних мас та для тонкого помелу.

Досить часто використовували комбінацію металу з бетоном та деревом (рис. 1), але більша частина броньових плит це – метал, який має певну геометричну форму (рис. 2). Як правило, це форма у вигляді хвилі, зубців або

1 – металевий брус; 2 – дерев'яний брус; 3 – рейка; 4 – бетон; 5 – металева решітка
а – металодерев'яна, б – рельсобетонна

Рисунок 1 – Конструкція футерівок

виступів. Броньові плити до барабану млина кріпляться болтами.

Недоліками таких футерівок є їх значна вага, так як одна плита може важити до 500 кг, що робить їх монтаж та демонтаж досить трудомістким процесом. Суттєвим недоліком також є значне шумове навантаження. Крім того в процесі роботи болтове з'єднання розхитується і відпускається, в результаті чого, відбувається підтікання в місцях з'єднання барабану і броньових плит. Всі ці недоліки змусили науковців шукати шляхи їх усунення.

Рисунок 2 – Профілі броньових плит циліндричної частини металевої футерівки: а – каскадний; б – хвильовий; в – двохвильовий; г – Д.К. Крюкова; д – клиновий; е – ребристий; ж – горбатий; з – норільський

Одним з таких шляхів є заміна металу іншими матеріалами або їх комбінацією. Останнім часом метал почала витісняти гума і сьогодні на багатьох збагачувальних підприємствах в барабанних млинах другої та третьої стадії використовується гума. У барабанних рудорозмельних млинах гумова футерівка відіграє досить важливу роль: по-перше, як елемент захисту від зношування і ударних навантажень і, по-друге, як елемент, фізико-механічні і морфометричні параметри якого впливають безпосередньо на процес подрібнення матеріалу. Саме від морфометричних параметрів залежать не тільки термін служби млинів в цілому, а і технологічні характеристики процесу подрібнення.

Можливість застосування та перші дослідження гумової футерівки почали проводити ще в 30-х роках минулого століття, але широке її використання почалось на початку 60-х років минулого століття швецькими компаніями «Skega» та «Trelleborg». Вони запропонували ряд ефективних конструкцій, особливості яких можна звести до наступного: футерівка виконується типу «плита-плита» або «плита-ліфтер» (рис. 3); кріплення футерівки до барабану виконується через металеву арматуру системою «гвинт-гайка».

Довговічність перших гумових футеровок складала 1…3 тисячі годин, сьогодні цей показник виріс в десятки разів і становить 25…30 тисяч годин для другої стадії подрібнення [2, 4]. Але такого строку служби вдається досягти не всім виробникам і на сьогодні питання забезпечення довговічності стоїть досить гостро.

Рисунок 3 – Конструкція гумових футерівок: а – типу «плита-плита»; б – типу «плита-ліфтер»

Так, на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті м. Кривий Ріг, проводився ряд спроб інтенсифікації процесу подрібнення

руди та зниження енерговитрат на 2 та 3 стадіях подрібнення за рахунок впровадження замість металевої футерівки барабану млина, різних типів гумової футерівки [2, 4]. В результаті досліджень конструкції гумових футерівок:

- забезпечують задану продуктивність уже з перших годин роботи;
- забезпечують зниження питомої витрати куль на 7…20 % в основному за рахунок зниження контактних напружень в момент удару;
- створюють можливість ведення процесів подрібнення без порушення технологічних показників при меншому обсязі куль;
- дозволяють підвищити продуктивність по живленню до 7…12 % без погіршення технологічних показників;
- дозволяють знизити питомі витрати електроенергії на 5…8 % за рахунок ведення процесів подрібнення із прийнятим на фабриці кульовим заповненням млина, але зі збільшенням вихідного живлення і виходом більш тонкого помелу руди.

Досить часто використовується поєднання гумової та металевої футерівки, яскравим представником такого поєднання є футерівка запропонована наприкінці 80-х років яка отримала назву «Poly-Met». Таке конструктивне рішення дозволяє використовувати переваги кожного з матеріалів – еластичність гуми та зносостійкість металу. При такому виконанні можна використовувати набагато більш тверді і зносостійкі сорти сталі та чавуну, а ніж при суцільній металевій футерівці, за рахунок того, що гума виступає у якості демпфуючого матеріалу.

Переваги комбінованої футерівки «Poly-Met» перед металевою, в цілому, аналогічні перерахованим вище для гумових футерівок.

Однією з найбільш складних та високовартісних футерівок є магнітна типу «рудна постіль» (рис. 4). Вперше така футерівка була запропонована фірмою «Skega». Дана конструкція футерівки містить серію магнітів, які завулканізовані в гумі. Магніти утримують футеровку на металевій поверхні барабану (замість болтового кріплення) і притягують захисну рудну постіль хвилеподібного профілю, що утворюється з магніточутливого матеріалу, який знаходиться в млині. Захисний шар магніточутливого матеріалу «рудна постіль» безперервно оновлюється по мірі зносу. Завдяки цьому футерівка зберігає постійний профіль і сама не зношується.

Загальна товщина футерування, включаючи запобіжний шар, менше, ніж у традиційних футерівок. Це сприяє збільшенню ефективного діаметра млина, що, в свою чергу, дає підвищення продуктивності. Також використання такого футерування сприяє зниженню питомої витрати електроенергії.

1 – гомогенна постіль тонкого магнітного матеріалу; 2 – груба постіль дрібних частинок магнітного матеріалу; 3 – текуча постіль з тонкого і грубого магнітного матеріалу; 4 – гума; 5 – сталь; 6 – постійний магніт

Рис. 4 – Магнітна футерівка типу «рудна постіль»

В ідеальних умовах (діаметр кулі до 40 мм) фактичне зношування футерівки надзвичайно мале, що забезпечує її високу довговічність. Головним фактором, який обмежує використання магнітних футерівок є їх відносна хрупкість і, як наслідок, недостатня стійкість до ударних навантажень та обмеженість застосування на різних стадіях подрібнення.

Новими та перспективними конструкціями гумових футерівок є футерівки компанії ТОВ «Валса-ГТВ» (Україна, м. Біла Церква). Дана компанія впровадила у виробництво конструкції футерівок «G.M-Хвиля» та «Плита-Н-Хвиля», які лягли в основу ресурсо- та енергозберігаючої RES технології дезінтеграції залізних руд [2].

Також сьогодні існують вдалі спроби використання гумових футерівок на першій стадії подрібнення з кулями 100 мм. Так, на Північний ГЗК вперше в світовій практиці було використано на першій стадії подрібнення гумову футерівку з кулею 100 мм, яка показала досить високі результати, а саме зменшилось споживання електроенергії на 5 %, знизилась питома витрата куль на 5 %, підвищився приріст готового класу продукту на 10…12 %, довговічність футерівки на відмову становила вище 9000 год.

Властивості гуми та її вплив на процес подрібнення вивчені недостатньо повно, саме тому проектування гумових деталей має суттєвий резерв. На теперішній час є вдалі спроби використання гуми при подрібненні каолінових руд, де в млин подають частку битої кераміки при цьому гумова футерівка справляється з поставленою задачею. Також досить успішно гумова футерівка впроваджується в млинах, що подрібнюють руди за присутності хімічно агресивних речовин (кислот, лугів).

В даній роботі розглянуті найбільш розповсюджені футерівки барабанних млинів, більшість з яких використовуються, вдосконалюються і досліджуються до сьогоднішнього дня. Враховуючи вищезазначене, тенденції розвитку футерівок барабанних млинів є актуальним питанням, що викликає інтерес як з боку промисловців так і науковців.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калганков, Є.В. Інноваційна технологія дезінтеграції руди в кульових барабанних млинах першої стадії подрібнення / Є.В. Калганков // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016». – Д.: НГУ, 2016. – С. 203-209.

2. Резиновые футеровки технологических машин / В.И. Дырда, Р.П. Зозуля, О.Н. Хоменко, И.В. Хмель. – Днепр: Журфонд, 2016. – 260 с.

3. Крюков, Д.К. Футеровки шаровых мельниц / Д.К. Крюков. – М.: Машиностроение, 1965. – 181 с.

4. Олейник, Т.А. Исследования влияния профиля резиновой футеровки на процесс измельчения в барабанных мельницах / Т.А. Олейник, И.В. Хмель. // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – №29.

REFERENCES

1. Kalgankov, Ye.V. (2016), “Innovative technology of disintegration of ore in drum ball mill grinding of the first stage”, *Sbornyk nauchnykh trudov mezhdunarodnoy konferentsyy «Sovremennye ynnovatsyonnye tekhnolohyy podhotovky ynzhenernykh kadrov dlya hornoy promyshlennosty y transporta 2016»*, pp. 203-209.

2. Dyrda, V.I., Zozulya, R.P. (et al.) (2016), *Rezinovyye futerovki tekhnologicheskikh mashin* [Rubber lining of technological machines], Zhurfond, Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Kryukov, D.K. (1965), *Futerovki sharovykh melnits* [Lining of ball mills], Mashinostroyeniye, Moscow, USSR.

4. Oleynik, T.A. and Khmel, I.V. (2014), "Investigations of the influence of the rubber lining profile on the grinding process in the drum mills", Vísnik Krivorízkogo natsíonalnogo uníversitetu, no. 29.

Про авторів

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

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

About the authors

Tsanidy Ivan Nikolaevich, 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), Dnipro, Ukraine

Kalgankov Yevgeniy Vasilievich, 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), Dnipro, Ukraine

Аннотация. Статья посвящена проблеме разработки энерго- и ресусосберегающих технологий процесса дезинтеграции (разрушения) кусков породы до необходимого размера или до необходимой стадии раскрытия минералов путём применения защитных футеровок барабанных мельниц. Анализ литературных источников показал, что дальнейшее совершенствование конструкции мельницы или внесения изменений в технологию переработки минерального сырья сегодня достиг определённого предела и дальнейшее совершенствование возможно за счёт использования прогрессивных материалов защитных футеровок и изменения их морфометрических параметров, а именно изменяя их формы и геометрические параметры, можно снизить энергозатраты и получить сырье более тонкого помола, что сегодня делает перерабатывающие предприятия конкурентоспособными.

Подробно рассмотрены конструкции металлических, резиновых и комбинированных футеровок, особенности их использования и перспективы развития. Приведены аналитические исследования работы и перспективы использования комбинированных футеровок типа «Poly-Met», которые внедряются в производство фирмой «Skega», ныне входящий в корпорацию «Metso Minerals». Рассмотрены современные конструкции футеровок типа «GM-Волна» и «Плита-Н-Волна», которые легли в основу ресурсо- и энергосберегающей RES технологии дезинтеграции железных руд, разработанной ООО «Валса ГТВ», а результаты их испытаний на первой стадии измельчения указали на их эффективность.

Ключевые слова: барабанная мельница, футеровка, морфометрические параметры, технология, дезинтеграция, ресурсосбережение, энергосбережение, стадии измельчения.

Abstract. The article is devoted to the problem of development of energy- and resource-saving technologies for disintegration (destruction) of the rock lumps to the required size or to the needed stage of the deposit opening by using protective lining in the drum mills. The analysis of literature showed that further improvement of the mill design or introduction of changes in the technology of processing of mineral raw materials has reached a certain limit today and further improvement is possible through the use of progressive materials for the protective lining and changing their morphometric parameters, i.e. by changing the lining shapes and geometric parameters, it is possible to reduce energy consumption and obtain raw materials of finer grinding, hence, making the processing enterprises competitive.

Design of metal, rubber and combined liners and especially their use and trends of further development are considered in all details. Results of the analytical study in terms of operation and potential use of the combined liners of the «Poly-Met» type, which are introduced into production by the company «Skega», today a member the «Metso Minerals» corporation, are presented. The latest designs of liners of the «GM-Wave» and «Plate-H-Wave» types are considered, which have formed a basis for the resource- and energy-saving technology (RES) for disintegration of iron ores; the technology was developed by the Valsa GTV Ltd. company, and the results of the liner tests at the first stage of grinding proved their effectiveness.

Keywords: drum mill lining, morphometric parameters, technology, disintegration, resource saving, energy saving, grinding stages

Статья поступила в редакцию 11.05.2017
Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.П. Надутым