

УДК 678.026.3 678.4.06

Чижик Е.Ф.

## **РЕЗИНОВЫЕ ФУТЕРОВКИ БАРАБАНЫХ РУДОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ – ОСНОВА УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

Розглядаються гумові футеровки важких барабаних млинів для дезінтеграції руд; приведені результати їх експлуатації порівняно з металевими футеровками.

### **RUBBER LINING OF DRUM-TYPE MILLS GRINDING ORE – A BOTTOM OF MAGNIFICATION OF THEIR PRODUCTIVITY AND RELIABILITY**

Rubber lining of heavy tumbling mills for desintegration of ores are considered; effects of their operation compared with metal lining are given.

На современном этапе рудоподготовки возможности обновления производственных мощностей весьма ограничены, а вследствие продолжающейся тенденции снижения содержания минерала в рудах и преобладания мелковкрапленности возрастает необходимость вовлечения в переработку значительно больших объемов. В этой связи становится крайне актуальной востребованность технических и технологических решений по сокращению затрат на процессы измельчения.

Из всех известных приемов по улучшению удельных технологических показателей и снижению себестоимости при измельчении, таких как увеличение объемов мельниц, стадийности измельчения и циркуляционных нагрузок – пока не приносят ощутимых результатов.

В то же время имеется реальный путь к решению данной проблемы по увеличению производительности, как по питанию, так и по готовому классу помола с одновременным решением ряда экономических и социальных проблем. Несмотря на определенную тенденциозность многих исследователей проблема однозначно решается путем использования резиновых футеровок особой конструкции, названных «бегающая волна».

В основу конструкции заложено максимальное использование уникального свойства резин – эластичности с обеспечением конструкционного демпфирования рабочей поверхности футеровки.

Еще в 1974 году нами была высказана гипотеза об увеличении производительности мельниц по готовому классу с обеспечением более тонкого помола, наряду с увеличением срока службы футеровки, если будут использованы резиновые футеровки определенных конструкций. На основании теоретических исследований предложены две основополагающие конструкции резиновых футеровок: в одной рабочая поверхность насыщалась мелющими шарами в процессе измельчения; в другой – использовались завулканизированные специальные металлические элементы (по обеим конструкциям футеровок были получены авторские свидетельства).

Развивая данное направление работ были созданы промышленные образцы футеровок и освоено их производство на заводах РТИ по специальной технологии изготовления.

По результатам длительной эксплуатации шаровых барабанных мельниц, укомплектованных резиновой футеровкой «бегущая волна», на различных предприятиях были получены следующие показатели:

- с первых часов работы была обеспечена заданная производительность;
- увеличена производительность по питанию до 10-15 % без ухудшения технологических показателей.
- увеличен срок службы в сравнении с металлической футеровкой, соответственно на 20-25 % при использовании шаров 80 мм, на 30-35 % если это шары 60 мм и 50-60 % при эксплуатации с шарами 40 мм или цельпепсами;
- обеспечено снижение удельного расхода шаров на 25-30 % (вследствие снижения контактных напряжений в момент удара);
- создана возможность ведения процессов измельчения без нарушения технологических показателей при меньшем объеме шаров;
- снижен объем шаров, что обеспечивает снижение потребляемой мощности (расхода электроэнергии);
- ведение процессов измельчения с принятым на предприятиях шаровым заполнением мельницы, но с увеличением питания и выходом более тонкого помола, что обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии;
- следы износа не оказывают отрицательного воздействия на последующие технологические процессы обогащения золота и урана.

В соответствии с актами приемочных испытаний резиновых футеровок типа «бегущая волна» получены по срокам службы следующие результаты:

- мельницы МШЦ 3200×4500, работающие в условиях эксплуатации измельчительно-флотационного отделения обогатительной фабрики Эрдэнэт, имели срок службы в пределах 18,9-20,4 тыс. часов при сроке службы металлических футеровок максимум 9,5-10,0 тыс. часов;
- в мельницах МШЦ 3200×5400, эксплуатируемых на ОАО «Покровский рудник» (золотоизвлекающая фабрика) резиновые футеровки отработали 21-22 месяца при сроке службы металлической футеровки 9-10 месяцев. Кроме того, они имеют потенциальный запас в сторону увеличения срока службы на 2,5-3 месяца. Так из 144 элементов барабанной футеровки, 2 имели сквозной износ, 6 до металлической закладной и 8 местный износ в виде углублений. При этом изношенные футеровки находились в различных местах по длине барабана, что свидетельствует о нарушении технологии их изготовления или состава резины (отклонения по качеству).

Также подтверждено, что на мельницах 1-ой стадии с шарами 100 мм при использовании футеровки «бегущая волна» обеспечивается процесс измельчения на более коротком отрезке длины барабана (2,5-2,8 м). Это позволяет при длинах барабанов 5 м и более получать одновременно две стадии измельчения, путем установки резиновой разделительной решетки. Т.е. на расстоянии 1/3 длины барабана от загрузоч-

ной стенки осуществляется измельчение с шарами 80-100 мм, а во второй части, 2/3 длины за решеткой, целесообразно загружать шары 60-40 мм. Таким образом, энергозатраты будут уменьшены в два раза, а производительность по питанию может быть увеличена на 20-25 % без снижения качества по готовому классу.

Высокая износостойкость резин в гидроабразивной среде определяется способностью к большим обратным деформациям с сохранением прочности при сжатии и растяжении. При ударе абразивной частицы о резину последняя сжимается, увеличивается площадь контакта, что приводит к резкому снижению контактных нагрузок и предотвращению повреждений. Кроме этого, эластичность резин способствует рассеиванию энергии удара и упругому восстановлению размеров и формы при кратковременных деформациях.

Согласно гипотезе Риттингера вновь образованная удельная поверхность  $\Delta S$  при измельчении пропорциональна затраченной удельной работе  $A$ . Увеличение выхода готового класса при резиновых футеровках может быть объяснено перераспределением энергии, затраченной на выполнение работы измельчения. Независимо от применяемого материала футеровки энергетические затраты на измельчение элементарного объема руды и износ шара на единицу веса остаются величинами постоянными.

Также остается постоянной и энергия единичного шара, которая зависит только от высоты его подъема. Следовательно, энергия шара расходуется на выполнение работы измельчения, износа самого шара и футеровки. Но резиновые футеровки вследствие высоких эластичных свойств обладают способностью к большим обратимым деформациям, поэтому часть энергии шара будет затрачиваться на выполнение работы деформации, вследствие которой создается вибрация шаровой загрузки. Следовательно, энергия обратной деформации выполнит дополнительную работу измельчения, величина которой определяется из соотношения:

$$A_{д.и.} = W_{д} - A_{нагрева},$$

где  $A_{д.и.}$  – работа дополнительного измельчения;

$W_{д}$  – энергия, затраченная на работу деформации;

$A_{нагрева}$  – часть затраченной механической энергии, переходящей в тепло,

вследствие наличия внутреннего трения и пластической деформации резины.

В соответствии с данными рассуждениями вновь образованная удельная поверхность измельчаемого материала при резиновой футеровке пропорциональна расходуемой энергии, т.е.

$$\Delta S = W = A_{изн.} - A_{изм.} + W_{д}$$

где  $W$  – энергия измельчаемого тела;

$A_{изн.}$  – работа, затраченная на износ;

$A_{изм.}$  – работа, затраченная на измельчение.

В целом при прочих равных условиях на износостойкость и технологические показатели работы шаровых мельниц с резиновой футеровкой влияет тип резиновой смеси и конструкция футеровки.

Наиболее широкое распространение имеют резиновые футеровки конструкции «плита-лифтер». Как показывает длительный опыт эксплуатации, лифтер всегда изнашивается более интенсивно, по сравнению с плитой. Поэтому требуется две-три замены лифтеров, прежде чем изнашивается плита. Эта конструкция снижает производительность мельниц по питанию, требует дополнительных материальных затрат по замене лифтеров, что приводит к потере объемов измельчения руды из-за остановок на ремонты.

Из всего разнообразия созданных металлических футеровок наиболее оптимальной, как по сроку службы, так и по обеспечению технологических показателей, оказалась созданная в 60-е годы волновая футеровка, более известная под названием ее автора – Д.К. Крюкова.

Выполненные нами исследования взаимодействия внутримельничной загрузки с футеровкой позволяют отдать предпочтение волновому профилю при конструировании резиновых футеровок, как для шаровых мельниц, так и самоизмельчения.

При этом, для мельниц самоизмельчения, в зависимости от ее диаметра и крупности руды в питании, длина волны должна быть регулируемой в целях обеспечения наилучших технологических показателей. Такие футеровки созданы, изготовлены пресс-формы для обеспечения комплектации мельниц диаметром от 5,0 м до 10,5 м и, начиная с января 2006 года, будут проведены их испытания на ряде предприятий.

Исходя из выше изложенного, наиболее рациональным является перевод всех мельниц, вне зависимости от количества стадий измельчения, на резиновые футеровки волновой конструкции. При этом, производительность секции в цикле измельчения может быть увеличена не менее чем на 50 %. Отработка технологических показателей по производительности готового класса создаст предпосылки для решения вывода одной мельницы из процесса измельчения или стабильного получения более мелких классов.

Учитывая, что резиновые футеровки (по объему использования) со временем будут преобладать над металлическими, а предлагаются различные конструкции, по которым потребителям зачастую трудно определить свое предпочтение, то целесообразно ввести понятие – «индекс качества» мельницы с резиновой футеровкой. Такой показатель должен интегрально характеризовать всю систему общих целостных позиций и включать в себя основные критерии оценки работы мельницы.

По нашему убеждению, наиболее полно индекс качества должен учитывать следующие показатели:

- удельная производительность мельницы по классу  $-0,071$  мм,  $P$ , т/(ч·м<sup>3</sup>);
- удельный расход электроэнергии,  $N$ , кВт/т;
- удельный расход мелющих тел,  $q$ , кг/т;
- прирост класса  $-0,071$  мм,  $\eta$ , %;
- время работы резиновой футеровки до отказа,  $t^*$ , ч;
- количество переработанной руды,  $Q$ , тыс. т;
- суммарная стоимость резиновой футеровки, металлической арматуры и элементов крепления,  $\Sigma C_{\phi}$ ;

- суммарная стоимость монтажных работ,  $\Sigma C_m$ ;
- суммарная стоимость монтажно-демонтажных работ при замене разрушенных элементов футеровки (плит, лифтеров и т.д.),  $\Sigma C_{Дб}$ .

Таким образом, выражение для индекса качества мельниц одного типа с различными конструкциями резиновых футеровок можно представить как соотношение основных показателей мельницы ( $M$ ) с новой футеровкой к аналогичным показателям мельницы ( $M_б$ ) с базовой футеровкой, т.е.:

$$I_k = \frac{M}{M_б} \cdot 10 \cdot \left( \frac{P}{P_б} \cdot \frac{N}{N_б} \cdot \frac{q}{q_б} \cdot \frac{\eta}{\eta_б} \cdot \frac{t^*}{t_б^*} \cdot \frac{Q}{Q_б} \cdot \frac{\Sigma C_\phi}{\Sigma C_{\phi б}} \cdot \frac{\Sigma C_m}{\Sigma C_{m б}} \cdot \frac{\Sigma C_D}{\Sigma C_{D б}} \right).$$

Здесь коэффициент 10 взят для удобства использования индекса качества в инженерной практике.

Индекс качества в принятом варианте может быть использован предприятиями-потребителями при выборе приемлемой конструкции резиновой футеровки для заданных условий эксплуатации мельницы.

УДК 678.4:539.3

Лисица Н.И., Заболотная Е.Ю., Агальцов Г.Н.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ УДАРА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЗИНОВЫХ ЗАЩИТНЫХ ФУТЕРОВОК

В статті подано короткий огляд робіт з теорії удару та запропоновано метод розрахунку гумових захисних футеровок при ударних навантаженнях.

### APPLICATION OF THE THEORY OF IMPACT FOR CALCULATION OF RUBBER PROTECTIVE LINERS

In paper brief survey of publications of the theory of shock presented and the computational method of rubber protective liners is offered at shock loads.

Идея применения защитных покрытий (футеровок) для рабочих органов машин не нова и уже давно используется, например, при обогащении угля и руды в мельницах, классификаторах, ситах грохотов, в вибромашинах, работающих на выпуске и доставке руды (вибропитателях).

Процесс разрушения футеровки имеет пространственную форму и осуществляется во времени, от нескольких часов до нескольких лет.

Процессы, касающиеся непосредственно футеровки и, прежде всего, ее долговечности и специфики разрушения, происходят непосредственно на границе загружаемый материал – поверхность футеровки. Именно в этой области происходят практически все процессы, определяющие особенности характера разрушения футеровки; ударные нагрузки, абразивно-усталостный износ, усталостное разрушение, ударно-абразивный износ и т.д.

Разработкой защитных футеровок рудоразмольных мельниц и их исследованием занимается Чижик Е.Ф. [6].