

В.И. ДЫРДА, д-р техн. наук,
(Украина, Институт геотехнической механики им. Полякова)

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, проф.,
(Украина, Криворожский технический университет)

И.В. ХМЕЛЬ
(Украина, ПАО "Северный ГОК")

ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШАРОВЫХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Актуальность процессов измельчения в барабанных рудоизмельчительных мельницах с каждым годом возрастает по причинам: отсутствия в ближайшие 30 лет других высокопроизводительных способов измельчения руд; снижение содержания полезных минералов в исходных рудах с преобладанием их мелкокрапленности; значительного увеличения объемов измельчения для насыщения рынка продуктами обогащения и необходимости ведения более тонкого измельчения – до класса 20 микрон и ниже.

Многочисленные исследования в области измельчения рудных материалов позволяют выделить такие основные направления научно-практических исследований, как повышение производительности мельниц по руде; повышение их производительности по готовому классу и снижение энергоемкости процессов измельчения.

Повышение производительности мельниц по руде в известных пределах сопряжено с ростом энергетических затрат. При этом повышение производительности мельниц по руде до определенного предела достигается за счет "форсирования" параметров механического режима. Но такой путь нельзя назвать интенсивным, так как при этом не рассматриваются удельные энергетические нагрузки [3].

Повышение производительности шаровых мельниц по готовому классу характеризует выбор оптимальной системы технологических параметров процесса измельчения. При этом повышение производительности по готовому классу может быть сопряжено с переизмельчением и, как результат, образованию труднообогатимых шламов. В конечном итоге это приводит к необоснованным потерям и повышению удельных энергетических затрат в расчете на единицу пригодного к обогащению класса.

Снижение энергоемкости процессов измельчения и повышение технологической эффективности измельчения следует рассматривать как важнейшую составляющую на пути интенсификации процессов рудоподготовки. С одной стороны это обусловлено выбором оптимальной системы параметров механического режима, с другой стороны – набором технологических параметров, таких как: крупность исходного питания, соотношение жидкого к твердому, а также параметрами, характеризующими физико-механические свойства перерабаты-

Підготовчі процеси збагачення

ваемого матеріала [3].

Поэтому, процесс измельчение в барабанных мельницах является многофакторным и многовариантной зависимостью, трудно поддающейся аналитическому описанию [6].

Одним из путей увеличения производительности шаровых мельниц, как по питанию, так и по готовому классу, является использование резиновых футеровок.

Анализ исследований и публикаций

Движение внутримельничной загрузки в барабане мельницы обладает сложной иерархической структурой с турбулентным движением пульпы и вихреобразным пульсирующим движением загрузки. В целом, процесс движения носит стохастический и нелинейный характер. Турбулентность как нерегулярное поведение нелинейной системы непосредственно связана с детерминированным многомерным хаосом и характеризуется сложным пространственно-временным поведением [4].

В механике под детерминированным хаосом понимают нерегулярное или хаотическое движение, вызванное нелинейностью среды, для которой динамические законы движения однозначно определяют эволюцию во времени состояния системы. В барабане мельницы будет наблюдаться сдвиговая турбулентность пульпы, особенно на разделе фаз пульпа-футеровка; при этом детерминированный хаос может возникать в локальных областях сегмента загрузки.

Поэтому, движение внутримельничной загрузки можно рассматривать как движение открытой системы, имеющей большие отклонения параметров равновесного состояния, нелинейность основных характеристик и кооперативное поведение подсистем, т.е. поведение постоянно возникающих в сегменте новых пространственно-временных структур. Такие структуры будут возникать в результате влияния ряда взаимосвязанных между собой факторов: турбулентного движения пульпы; скольжения загрузки относительно футеровки и возникновению благодаря этому фрикционных колебаний; большой диссипации энергии сегмента загрузки; поворотной асимметрии движения барабана в результате несимметричного распределения загрузки и несовершенства конструкции, и др. [4].

В процессе экспериментальной исследований на лабораторной мельнице (диаметр 500 мм с прозрачной торцевой стенкой) было установлено, что движение компактной зоны сегмента внутримельничной загрузки в общем случае осуществляется по логарифмической спирали с полюсом в зоне малоподвижного ядра (рис. 1, а). При этом само малоподвижное ядро не остается постоянным, а пульсирует с определенной частотой, т.е. периодически изменяется и его объем, и его форма, и его местоположение. По-видимому, в объеме мельницы, в основном по длине, такое ядро также не будет устойчивым, а вследствие мощных пульсаций загрузок будут меняться его форма и геометрические размеры [3].

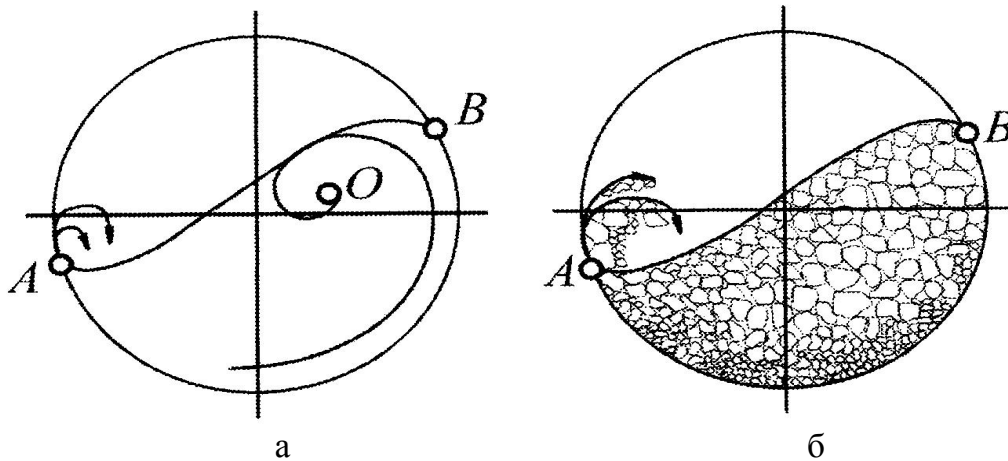


Рис. 1. Движение загрузки в барабане (AB – след контактной зоны):
 а – по логарифмической спирали с полюсом в центре O ;
 б – с монодисперсоидом в зоне пяты отката

Механика движения загрузки в зоне пяты отката имеет еще одну важную особенность, установленную экспериментально: на стыке загрузки и футеровки наблюдается мощное структурное образование, вызванное турбулентным движением пульпы (рис. 1, б).

Это структурное образование, назовем его монодисперсоидом, обладает нестабильностью формы и размеров, ему присуща неустойчивость движения. В объеме монодисперсоида находится пульпа, металлические шары и измельчающий материал различной крупности. Все это вместе благодаря турбулентности находится в псевдосжиженном (кипящем) состоянии. Квазиустойчивость формы и размеров монодисперсоида в течение определенного времени определяется скоростью движения барабана, степенью его заполнения, величиной скольжения загрузки относительно футеровки (коэффициентом трения), вязкостью пульпы и рельефом футеровки [4].

Явление детерминированного хаоса вместе с другими эффектами (диссипация энергии системы, турбулентное движение пульпы, пульсационный характер движения барабана и др.) лежит в основе волнообразного движения внутримельничной загрузки [2, 4].

Закономерности волнового движения внутримельничной загрузки в барабане была установлена в шестидесятых годах прошлого века. Многие исследователи отмечали, что поверхность гладкой резиновой футеровки со временем становится волнистой, а русло приобретает вид речного узора. Аналогичная закономерность наблюдалась и для металлических футеровок различной конструкции. Это дало повод для проектирования футеровочных плит с такой поверхностью, что при их укладке по диаметру мельницы наблюдалась волна определенных размеров.

В основе появления такой закономерности лежат уже отмеченные особенности движения загрузки в барабане мельницы: явления детерминированного

Підготовчі процеси збагачення

хаоса, турбулентное движение пульпы, нелинейность механических параметров загрузки, мощные пульсации пульпы, существенная диссипация загрузки и т.д. Важную роль играет также эффект поворотной асимметрии движения барабана и пульсационный характер его вращения; в результате этих воздействий нарушается симметрия волн и задается определенный ритм речного узора.

Согласно законам гидродинамики (модель Великанова) уже в силу одной турбулентности потока плоское русло футеровки превращается в волнообразное (рис. 2-4). [4]



Рис. 2. Резиновая футеровка "плита – лифтер" – 1000 часов



Рис. 3. Резиновая футеровка "плита – лифтер" – 8900 часов

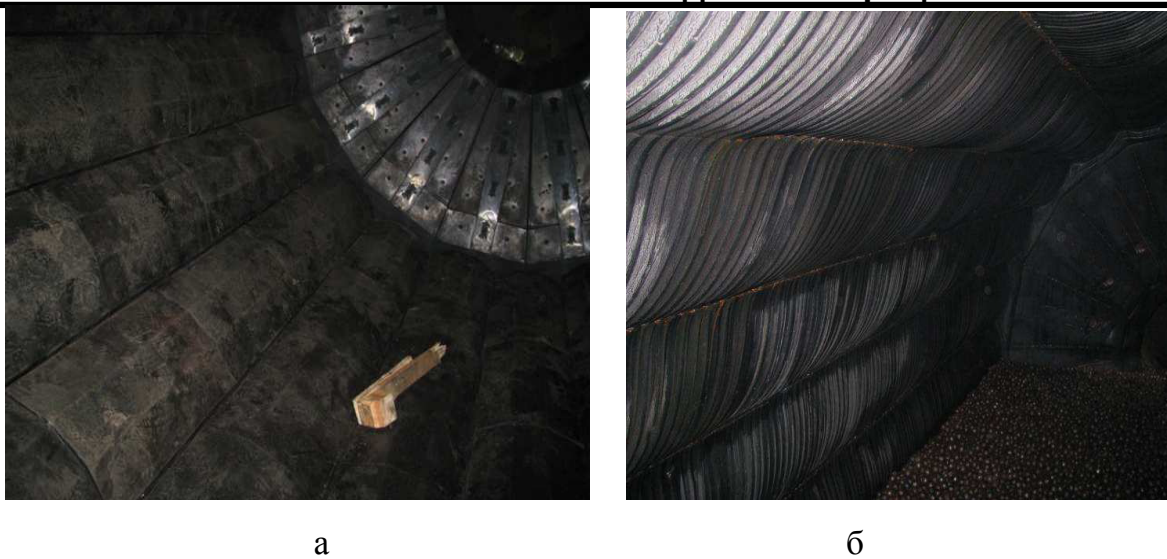


Рис. 4. Резиновая футеровка "плита-плита" ("бегущая волна"):
а – монтаж; б – 9000 часов

В последние годы, начиная с конца 80-х годов, интенсивно развивается направление комбинирования различных материалов, например, стали и резины. Такой подход позволяет максимально использовать преимущества как одного, так и другого материалов – эластичность резины и износостойкость стали. При этом представляется возможным использование гораздо более твердых и износостойких сортов стали и чугуна, чем при сплошной металлической футеровке. В этом случае, резина выступает в роли демпфирующего материала, способного поглощать ударные нагрузки [1].

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

Согласно гипотезе Риттингера, вновь образованная удельная поверхность ΔS 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 способно-

Підготовчі процеси збагачення

стью к большим обратным деформациям, поэтому энергия шара будет затрачиваться на выполнение работы деформации, вследствие которой создается вибрация шаровой загрузки. Следовательно, энергия обратной деформации выполнит дополнительную работу измельчения [5].

Постановка задания

Инженерная практика в результате длительных промышленных испытаний рекомендует наиболее широко известные резиновые футеровки с различными морфометрическими и геометрическими параметрами: "плита – плита", "плита – плита" с металлическими вставками; "плита – лифтер" различных модификаций и т.д. Выбор подходящей конструкции футеровки должен осуществляться с учетом технологии измельчения материала, типа мельницы и особенностей перерабатываемой руды: ее твердости, прочности, крупности и т.д. [3].

Применение износостойких резин в качестве футеровочного материала позволяет интенсифицировать процесс измельчения. Изменение динамики движения внутримельничной загрузки обеспечивается использованием эластичных свойств резины. Наиболее эффективно влияет эластичность на взаимное перемещение среды при волновом профиле футеровки. Кроме того, можно достигнуть повышения истирания измельчаемого материала за счет увеличения относительного вертикального и горизонтального движения слоев технологической загрузки. Последнее достигается благодаря наличию металлических вставок на рабочей поверхности резиновой футеровки мельниц [1].

В настоящее время на горно-обогатительных предприятиях Украины и России на мельницах второй и последующих стадиях измельчения также успешно применяется резиновая футеровка. Опыт эксплуатации мельниц второй и последующих стадий измельчения показал, что срок службы резиновых футеровок в 2...2,5 раза выше, чем изготовленных из марганцовистых сталей.

Изложение материала и результаты

На РОФ-1 ОАО "СевГОК" были проведены сравнительные промышленные испытания резиновой футеровки различных профилей с целью определения срока службы, удельного расхода электроэнергии и влияния ее применения на технологические показатели работы мельниц.

Анализ полученных результатов показывает, что:

во второй стадии измельчения резиновая футеровка "плита – лифтер" имеет аналогичные технологические показатели со стальной футеровкой шарошипового профиля прирост готового класса (-0,056 мм) в сливе мельницы составляет в обоих случаях 22,3%;

в третьей стадии измельчения:

– резиновая футеровка типа "плита – лифтер" и металлическая футеровка шарошипового профиля имеют практически одинаковые технологические показатели по измельчению: прирост по готовому классу в сливе мельницы составляет 10,5...11,8%;

– резиновая футеровка типа "Волна" имеет прирост готового класса в сли-

Підготовчі процеси збагачення

ве мельниці 18,7%, що в два рази вище, ніж на металічеській футеровці шарошипового профіля і резинової футеровці типу "плита – ліфтер".

Учитывая результати технологічеських іспитаній резинової футеровки різних профілів в мельницях МШЦ 3,6×5,5 в умовах РОФ-1 цілеспрямовано застосувати:

- в другій стадії змельчення резиновою футеровкою типу "плита – ліфтер" або "плита – самофутеруюча";
- в третій стадії змельчення резиновою футеровкою типу плита-плита "Волна".

Комбінування гуми і металу привело до створення гумо-металічеської футеровки для роботи з шарами 80-120 мм. Так на обогатительній фабриці комбінату СП "Ерденет" була встановлена в 2007 році на мельниці МШЦ 5,5×6,5 на першій стадії змельчення (шар 100 мм, крупність руди -18+0 мм) футеровка "полімет" виробництва ООО "Механобр-Полімет". Термін служби футеровки "полімет" склав 9 (дев'ять) місяців, порівняно з металічеською – 8 місяців. Мельниця з футеровкою "полімет" з перших годин роботи забезпечила задану продуктивність по вихідному питанню з забезпеченням потрібного помолу [1].

В даний час на ОАО "СевГОК" в першій стадії змельчення (шар 100 мм, крупність руди 93% класу -20+0мм) на мельницях МШР 3,6×4,0 проходять промислові іспитання гумо-металічеських футеровок українських виробників НПП "Еласт" (г. Дніпропетровськ) і ООО "Валса ГТВ" (г. Біла Церква).

Гумо-металічеська футеровка виробництва компанії "Валса ГТВ" має хвилястий профіль футеровки "бігуща хвиля" з металічеськими вставками – шипами. Футеровка компанії "НПП Еласт" представлена профілем "плита – ліфтер", ліфтер – гумо-металічеський.

Застосування на мельниці футеровки хвилястого профіля забезпечило вихід на потрібний технологічний режим і продуктивність уже через три дні роботи. Попередні результати промислових іспитаній показують, що застосування гумо-металічеської футеровки хвилястого профіля порівняно з металічеською футеровкою (самофутеруюча футеровка, так звані "мехельсонівська футеровка") дозволило підвищити продуктивність мельниці по вихідному питанню на 3...5% при забезпеченні потрібного якості помолу.

При використанні в першій стадії на мельниці МШР 3,6×4,0 гумо-металічеської футеровки профіля "плита – ліфтер" продуктивність по вихідному питанню була аналогічна мельниці з металічеською футеровкою ("мехельсонівської"). Після нароботки футеровки порядку 3200 годин, відзначено зростання продуктивності на 3% порівняно з металічеською, так як профіль футеровки наблизився до "хвилі".

Іспитання гумо-металічеських футеровок в першій стадії змельчення на ОАО "СевГОК" продовжуються для визначення експлуатаційної надійності футеровок.



Рис. 5. Резиново-металлическая футеровка производства "Валса ГТВ" в мельнице первой стадии: а – 870 часов; б – 3300 часов

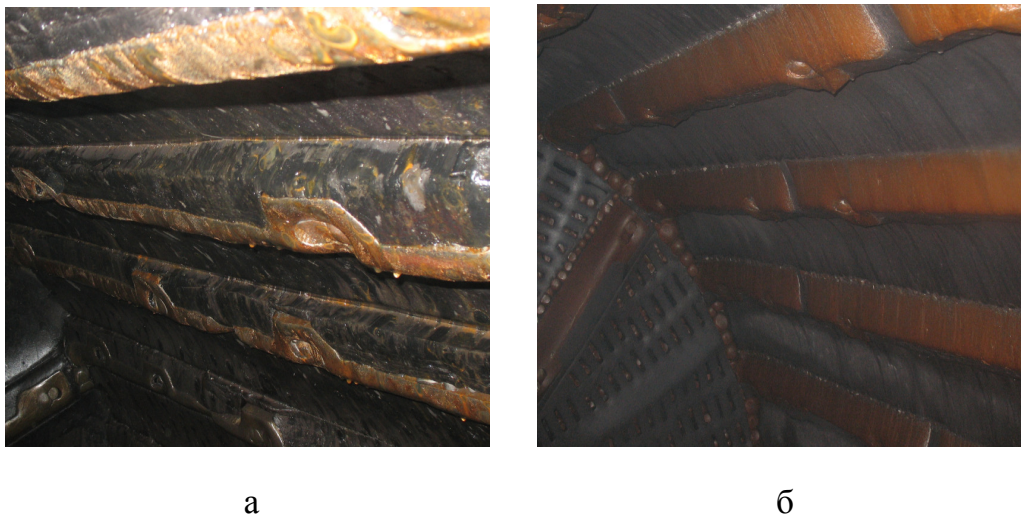


Рис. 6. Резиново-металлическая футеровка производства "НПП Эласт" в мельнице первой стадии: а – 2500 часов; б – 4200 часов

Выводы и направление дальнейших исследований

Снижение энергоемкости процессов измельчения и повышения технологической эффективности измельчения следует рассматривать как важнейшую составляющую на пути интенсификации процессов рудоподготовки. Правильный (оптимальный) подбор резиновых и резиново-металлических футеровок по стадиям измельчения позволит интенсифицировать процесс измельчения. Изменение механики движения внутримельничной загрузки, вызванного эластичными свойствами материала футеровок, обеспечивает:

- увеличение производительности по исходному питанию и готовому классу на 5...6%;
- сокращение расхода шаров до 10%;

- сокращение расхода потребляемой и удельной электроэнергии и в пределах 5...10%.

Список литературы

1. **Чижик Е.Ф.** Барабанные рудоизмельчительные мельницы с резиновой футеровкой. – Днепропетровск, 2005.
2. **Андреев С.Е., Петров В.А., Зверевич В.В.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980.
3. **Маляров П.В.** Основы интенсификации процессов рудоподготовки. – Ростов-на-Дону, 2004.
4. Геотехническая механика, Межведомственный сборник научных трудов, Выпуск 86, Днепропетровск, 2010.
5. **Чижик Е.Ф., Маркелов А.Е., Дырда В.И.** Защитные футеровки барабанных рудоизмельчительных мельниц. – Днепропетровск, 2002.
6. **Тарасенко А.А., Трубицин М.Н.** Воздействие внутренней загрузки как двухмассовой системы на рабочую поверхность барабанной мельницы // Обогащение руд. – 2000. – №3. – С. 25-32.

© Дырда В.И., Олейник Т.А., Хмель И.В., 2011

*Надійшла до редколегії 12.05.2011 р
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*