

Висновки та напрямки подальших досліджень. Зниження забруднення навколишнього середовища токсичними продуктами згоряння органічних палив є однією з важливих проблем розвитку теплоенергетики. У промисловості існують різні методи зниження зазначених викидів, наприклад, шляхом східчастого спалювання палива, рециркуляції димових газів у топці котла, упорскування води в зону горіння, хімічного очищення димових газів, (за допомогою аміаку) або опромінення газів електронними пучками. Однак перераховані методи й прийоми, у певній мірі знижуючи викиди оксидів, погіршують економічність котлів або досить складні в практичному використанні, особливо в котельних установках малої й середньої потужності.

Визначено, що режими з контрольованим помірним недопалом є найбільш виправданими як з погляду екологічної чистоти, так й з погляду ефективного спалювання палива. Режими з контрольованим помірним недопалом є малозатратними й швидко впроваджуваними, оскільки можуть бути легко реалізовані на котлі в результаті налагоджувальних випробувань.

Впровадження режимів з контрольованим недопалом доцільно при модернізації АСУ ТП котла. Метою створення системи є забезпечення оптимальних виробничо-економічних, технологічних і технічних параметрів роботи котла для покращення якості димових газів. Автоматизована система керування процесами, які відбуваються в котельних установках, повинна наряду з ефективним використанням енергоресурсів якнайменше забруднювати атмосферу.

Список літератури

1. Ахмедов Р.Б. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – 2-е изд. перераб. и доп. / Р.Б. Ахмедов, Л.М. Цирульников. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.
2. Котлер В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В.Р. Котлер. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
3. Разработка рекомендаций по снижению выбросов оксидов азота для газомазутных котлов ТЭС / П.В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1991. – № 9.
4. Высокоэффективный способ снижения теплового и химического загрязнения атмосферы газифицированными котельными / Ю.М. Варфоломеев // «Энергобезопасность в документах и фактах» №5, 2005 г., издание «Московского Института Энергобезопасности и Энергосбережения», www.endf.ru
5. Содержание вредных веществ в дымовых газах и способы снижения их концентрации // 2006-2009 Водная техника™, domotronika.ua.

Рукопис подано до редакції 20.01.12

УДК 622.7

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,
И.В. ХМЕЛЬ, главный обогатитель, ПАО «Северный горно-обогатительный комбинат»

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ РУДОПОДГОТОВКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕЛЬНИЦ С РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКОЙ

Приведены особенности процессов рудоподготовки при использовании резиновой футеровки в мельницах Северного горно-обогатительного комбината. Показаны существенные преимущества резиновой футеровки мельниц перед металлическими футеровками. Доказано, что при использовании резиновой футеровки повышается раскрытие рудных зерен на 1,8-3 %.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Измельчение полезных ископаемых - это один из наиболее важных процессов в обогащении полезных ископаемых. На горно-обогатительных комбинатах на него тратится 5-20 % всей электроэнергии мира. В целом на процессы измельчения приходится 50-70 % общих капитальных и эксплуатационных затрат и наибольшие затраты металла. Кроме энергетического фактора при выборе способа измельчения учитывается непосредственно главная цель этого процесса - не уменьшение крупности зерен, а раскрытие минеральных сростков. На обогатительных комбинатах по переработке магнетитовых кварцитов при крупности измельчения 94-98 % класса минус 0,044 мм раскрытие рудных зерен составляет 78-84 %. Соответственно качество концентратов не превышает 64 % по железу общему, что сегодня не удовлетворяет мировым стандартам. Одной из причин сложившейся ситуации, на наш взгляд, являются процессы, происходящие в мельницах с традиционной металлической футеровкой, где происходит в основном уменьшение крупности зерен (а не их раскрытие) за счет истирания. Для повышения степени раскрытия минеральных зерен необ-

ходимо перераспределить механическое воздействие - увеличить ударную составляющую в процессе измельчения руды.

Анализ исследований и публикаций. Ретроспективный взгляд на состояние рудоподготовительных процессов позволяет сделать вывод о том, что главные направления их развития со временем существенно меняются. В 1970-х годах главными были дальнейшее усовершенствование технологии и оборудования процессов измельчения, увеличение единичных размеров барабанных мельниц, переход на самоизмельчение и его интенсификацию, разработка принципиально новых методов и средств рудоподготовки [1].

Позже, в 1980-х годах, получили распространение новые процессы разрушения и направления технического перевооружения дробильно-измельчительных комплексов, которые предусматривали не только усовершенствование различных типов дробилок и рост их мощности, увеличение размеров барабанных мельниц первичного самоизмельчения (до 300-400 м³) и шаровых мельниц (до 220-320 м³), но и обновление другого сопутствующего оборудования. Одновременно планировался переход на комбинированные технологии подготовки руды с использованием первичных само-, полусамо- и шарового измельчения, получение продуктов с узкой гранулометрической характеристикой, создание и внедрение в промышленность измельчения взрывом, получение стабильных средних размеров кусков, предварительную концентрацию для разработки систем управления гранулометрическим составом и прочностью горной массы в условиях сквозной ресурсосберегающей технологии дезинтеграции.

Среди других направлений следует отметить новые методы и технологии селективного разрушения материалов, разработка теоретической базы, техники и технологии уменьшения прочности, выборочного разрушения и классификации с использованием рациональных видов сдвиговых, растягивающих и других усилий, эффектов механической активации, химического, ультразвукового, электроимпульсного и других влияний на процесс дезинтеграции материалов.

Предполагалось создание и использование энергонапряженных измельчительных аппаратов (мельницы струйные, планетарные и вибропланетарные, центробежные, башенные, динамического самоизмельчения и др.). Уделялось внимание и разработке средств интенсификации измельчения в барабанных мельницах за счет оптимизации траектории движения измельчающих тел, использования футеровок интенсивного перемешивания и магнитного влияния, повышения пропускной способности мельниц.

В 2000-2010 гг. радикальных изменений в технике и технологии измельчения не произошло. Вообще эволюционный процесс усовершенствования существующей техники был направлен на снижение капитальных и энергетических затрат.

Достигнутые объемы и мощность мельниц уже почти исчерпали свои возможности как с точки зрения существенного уменьшения удельных объемов, так и площадей производственных помещений. Проф. С.Ф. Шинкоренко установил, что для шаровых мельниц с повышением их диаметра имеет место тенденция к увеличению капитальных и приведенных затрат. Для измельчения без шаров он предсказал снижение указанных затрат при возрастании диаметра мельниц до 9 м и обосновал существование тенденции улучшения эффективности измельчения с возрастанием диаметра. Вместе с тем ученый отрицает идею сверхразмеров мельниц самоизмельчения, которые, по его мнению, имеют границу в зависимости от характеристик измельчаемого сырья.

Продолжался интенсивный поиск новых энергонапряженных конструкций измельчительного оборудования, учитывающих преимущества известных решений и исключая их недостатки, а также позволяющих существенно увеличить удельные показатели по сравнению с традиционными мельницами. Поиск проходил в различных направлениях: создание мельниц вибрационных и центробежных, планетарных и струйных, башенных и динамического самоизмельчения, валковых, Снайдера и др.

В последние годы интенсивное развитие получила тенденция применения и усовершенствования модификаций валковых мельниц. С их помощью можно увеличить производительность шаровых мельниц от 10 до 100 %. Использование валковых мельниц дает возможность снизить удельные затраты в последующих стадиях от 10 до 55 %. Наблюдается стремление усовершенствовать конструкцию и технологию применения валковых мельниц за счет дальнейшего повышения давления на измельчаемое сырье, применения воды в процессе измельчения, многократного сжатия сырья в различных направлениях в условиях сверхвысокого давле-

ния [2]. Тенденции в целом перспективные (табл. 1), хотя и с определенными недостатками. Это касается износа рабочей поверхности, непосредственно участвующий в измельчении, необходимости применения дополнительных стадий измельчения в шаровых мельницах. Что касается других методов и технологий измельчения, то они недостаточно изучены и для больших производительностей не распространены.

Таблица 1
Изменение удельных показателей измельчения (%) за счет внедрения новых средств и методов

Средство (метод) измельчения	Уменьшение расхода		Увеличение производи- тельности	Снижение энергозатрат
	шары	футеровка		
Квадратный профиль внутренней по- верхности барабана	16		1,4	15-19
Нагрев до 800 °С			50-100	20-40
Вибрационные мельницы:				
Двухкамерные		90		
с наклоном				10-20
Трехкамерные			50-100	20-40
с вращением				50
Башенные мельницы				50
Центробежные мельницы				30
Валковые мельницы			10-40	10-55
Валковые мельницы с давлением свыше 50 МПа	35-64			64
Валковые мельницы с давлением 50-250 МПа в разных направлениях				71-80
Пресс-валок			25-100	15-37
Пресс-валки с гладкой поверхностью и давлением 50-270 МПа				15-40

По мнению многих отечественных и зарубежных специалистов в ближайшие 20-30 лет основным способом рудоподготовки останется измельчение в барабанных мельницах. Все направления в области применения новых видов измельчительного оборудования хороши при разработке и строительстве новых фабрик, а в условиях обогатительных фабрик, которые были спроектированы в 50-60 годах прошлого века применение нового измельчительного оборудования просто нереально. Поэтому в условиях действующих обогатительных фабрик необходимо изыскивать внутренние резервы для совершенствования рудоподготовки.

Одним из таких направлений является применение резиновых и резиново-металлических футеровок новых профилей.

Постановка задачи. Для создания эффективной технологии подготовки руды к обогащению необходимо учитывать работу, направленную на уменьшение внутренних сил сцепления в куске еще на стадии взрыва. Перераспределение энергетических нагрузок из фазы измельчения в фазу дробления руды - приведет к снижению энергоемкости всего процесса. При этом выбор подходящей конструкции футеровки должен осуществляться с учетом технологии измельчения материала, а именно увеличения степени раскрытия минеральных зерен и снижения при этом энергоемкости самого процесса подготовки руды к ее дальнейшей переработке.

Изложение материала и результаты. На рудообогатительной фабрике №1 ПАО «Сев-ГОК», начиная с 2004 г., большое внимание уделяется оптимизации системы технологических параметров процесса измельчения. Снижение энергоемкости процессов измельчения и повышение технологической эффективности измельчения рассматривается как важнейшая составляющая на пути интенсификации процессов рудоподготовки.

Первым этапом на пути интенсификации процесса рудоподготовки явилась совместная работа с горняками. Идея разупрочнения взрывом уже на первой стадии рудоподготовки для облегчения последующих стадий дробления выдвигалась еще академиком Н.Н. Мельниковым и его школой. В основе идеи - известное явление, заключающееся в том, что при взрыве заряда, кроме системы крупных трещин, разделяющих массив, образуется дополнительная система микротрещин, ослабляющая куски породы. Густота микротрещин зависит от свойств породы и ВВ [2].

К исследованию по разупрочнению горных пород взрывом были привлечены специалисты НИГРИ.

В результате совместной работы удалось получить снижение показателя удельной работы разрушения рудной шихты, поступающей на дробление от 10-15 до 4-12 кг м/см³. Это привело к снижению крупности рудной шихты, поступающей на измельчение от 9 -12 % класса +20 мм до 6-7,5 %.

Снижение крупности рудной шихты, поступающей на измельчение, дало возможность перехода на более мелкий шар. Так были проведены промышленные испытания, в результате которых в первой стадии измельчения стальные шары диаметром 120 мм были заменены на стальные шары диаметром 100 мм, а во второй и третьей стадиях измельчения осуществлен переход на шары диаметром 40 мм.

Перспективным направлением в усовершенствовании схем рудоподготовки является применение в мельницах резиновых футеровок [3,4].

На РОФ-1 ПАО «СевГОК» были проведены сравнительные промышленные испытания резиновой футеровки различных профилей для определения срока службы, удельного расхода электроэнергии и влияния ее применения на технологические показатели работы мельниц.

Анализ полученных результатов (рис. 1) показывает, что:

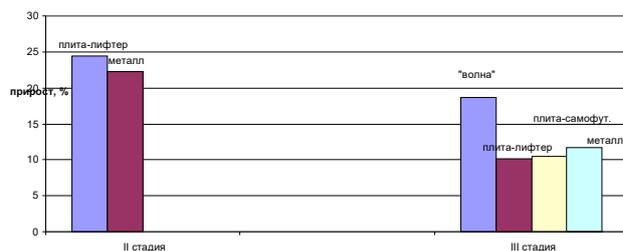


Рис. 1. Прирост готового класса крупности (-0,056 мм) в сливе мельниц II и III стадий измельчения при использовании различных футеровок

во второй стадии измельчения резиновая футеровка «плита-лифтер» имеет аналогичные технологические показатели со стальной футеровкой шарошипного 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 шарошипного 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 сливе мельницы 18,7 %, что в два раза выше, чем на металлической футеровке шарошипного профиля и резиновой футеровке типа «плита-лифтер».

Качественные характеристики продуктов, полученных при использовании различных видов футеровок, представлены в табл. 2,3.

Таблица 2

Ситовая характеристика продуктов измельчения III стадии и магнетитового концентрата при использовании разных футеровок

Продукт	Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля Fe _{общ.} , %
Секция с мельницей МШЦ 3,6×5,5 с металлической футеровкой шарошипного профиля			
Слив г/ц 3 ст.	+0,071	1,0	18,5
	-0,071+0,056	3,1	24,5
	-0,056+0,044	3,5	43,7
	-0,044+0	92,4	66,5
	Итого	100	63,9
Магн. прод. 4 ст.	+0,071	0	-
	-0,071+0,056	3,2	27,6
	-0,056+0,044	2,8	46,2
	-0,044+0	94,0	67,2
	Итого	100	65,5
Секция с мельницей МШЦ 3,6×5,5 с резиновой футеровкой профиля «бегущая волна»			
Слив г/ц 3 ст.	+0,071	0	-
	+0,056	1,5	25,3
	-0,056+0,044	2,2	41,4
	-0,044+0	96,3	66,0
	Итого	100	64,85
Магн. прод. 4 ст.	+0,071	0	-
	-0,071+0,056	2,1	20,1
	-0,056+0,044	1,8	32,5
	-0,044+0	96,2	67,4
	Итого	100	65,8

При использовании резиновой футеровки профиля «бегущая волна» в третьей стадии измельчения наблюдается увеличение выхода готового класса крупности (минус 0,044 мм) на 3,9 % и увеличение качества концентрата на 0,3 % по железу общему (табл. 2) без снижения его выхода.

При оценке раскрытия минеральных зерен (табл. 3) установлено, что при использовании резиновой футеровки повышается раскрытие рудных зерен на 1,8 - 3%, нерудных на 1,3 %, что в свою очередь увеличивает конечное качество концентрата на 0,3 % без снижения его выхода.

Таблица 3
Минералогическая характеристика продуктов измельчения III стадии и магнетитового концентрата при использовании разных футеровок

Продукт	Класс крупности, мм	Массовая доля минеральных зерен, %											
		рудные		сростки						нерудные		сумма	
		от кл.	от прод.	богатые		средние		бедные		от кл.	от прод.	от кл.	от прод.
Секция с мельницей МШЦ 3,6×5,5 с металлической футеровкой шарошипового профиля													
Слив г/ц 3 ст.	+0,071	2,0	0,02	0,9	0,01	28,0	0,28	44,4	0,44	24,7	0,25	100	1,0
	-0,071+0,056	8,3	0,26	7,5	0,23	20,3	0,63	41,7	1,29	22,2	0,69	100	3,1
	-0,056+0,044	43,7	1,53	10,9	0,38	9,8	0,34	16,5	0,58	19,1	0,67	100	3,5
	-0,044	89,7	82,88	0,9	0,83	1,0	0,92	1,6	1,48	6,8	6,28	100	92,4
Итого		84,7		1,4		2,2		3,8		7,9		100	
Магн. прод. 4 ст.	-0,071+0,056	9,5	0,30	7,6	0,24	18,9	0,60	35,5	1,14	28,5	0,91	100	3,2
	-0,056+0,044	34,8	0,97	17,9	0,50	11,8	0,33	24,9	0,70	10,6	0,30	100	2,8
	-0,044	89,3	83,94	1,8	1,69	2,7	25,4	2,4	2,26	3,8	3,57	100	94,0
	Итого		85,2		2,4		3,5		4,1		4,8		100
Секция с мельницей МШЦ 3,6×5,5 с резиновой футеровкой профиля «бегущая волна»													
Слив г/ц 3 ст.	+0,056	9,0	0,14	6,3	0,09	24,7	0,37	40,8	0,61	19,2	0,29	100	1,5
	-0,056+0,044	42,2	0,93	8,0	0,18	7,4	0,16	23,9	0,52	18,5	0,41	100	2,2
	-0,044	88,7	85,42	0,9	0,87	1,2	1,16	2,5	2,41	6,7	6,45	100	96,3
	Итого		86,5		1,1		1,7		3,5		7,2		100
Магн. прод. 4 ст.	-0,071+0,056	13,5	0,27	4,7	0,09	15,5	0,31	37,9	0,76	28,4	0,57	100	2,0
	-0,056+0,044	33,7	0,61	8,4	0,15	6,2	0,11	28,3	0,51	23,4	0,42	100	1,8
	-0,044	90,8	87,35	0,6	0,58	1,2	1,15	2,1	2,02	5,3	5,10	100	96,2
	Итого		88,2		0,8		1,6		3,3		6,1		100

Выводы и направление дальнейших исследований. Учитывая результаты технологических испытаний резиновой футеровки различных профилей в мельницах МШЦ 3,6×5,5 в условиях РОФ-1 целесообразно применить:

во второй стадии измельчения резиновую футеровку типа «плита - лифтер» ли «плита – самофутерирующаяся»;

в третьей стадии измельчения резиновую футеровку типа плита-плита «Волна».

В настоящее время на ПАО «СевГОК» в первой стадии измельчения (шар 100 мм, крупность руды 93 % класса -20÷+0мм) на мельницах МШР 3,6×4,0 проходят промышленные испытания резиново-металлических футеровок украинских производителей ООО «НПП «Эласт» (г.Днепропетровск) и ООО «Валса ГТВ» (г. Белая Церковь).

Применение на мельнице футеровки волнового профиля обеспечило выход на требуемый технологический режим и производительность уже через трое суток работы. Предварительные результаты промышленных испытаний показывают, что применение резиново-металлической футеровки волнового профиля по сравнению с металлической футеровкой (самофутерирующаяся футеровка, так называемая «мехельсоновская футеровка») позволило повысить производительность мельницы по исходному питанию на 3-5 % при обеспечении требуемого качества помола.

Список литературы

1. Андреев С.Е., Петров В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980 год.
2. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки. Ростов – на-Дону, 2004 год.
3. Чижик Е.Ф. Барабанные рудоизмельчительные мельницы с резиновой футеровкой., Днепропетровск, 2005год.

4. **Klas-Goran Eriksson , Gunder Marklund, Гребенешников А.Л., Фищев В.Ю.**, Развитие систем мельничных футеровок. Горная промышленность. №1, 2003г.

Рукопись поступила в редакцию 12.12.11

УДК 622.7: 622.3

Т.А. ОЛЕЙНИК, В.И. МУЛЯВКО, доктора техн. наук, проф., С.В. МИХНО, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОСОБЕННОСТИ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ КОРЕННЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ РУД

Приведены результаты исследований сухой магнитной сепарации коренных титаносодержащих руд. Раскрыты основные проблемы предварительного обогащения коренных руд. Показана высокая эффективность процесса сухой магнитной сепарации исходной руды на классах крупности -60+0 мм.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время, в связи с необходимостью разработки в Украине титановых руд коренных месторождений, основным направлением технического прогресса в области их первичной переработки является переход на комбинированные схемы, в которых процессы мокрого обогащения руды сочетаются с сухими. Причем сухое обогащение сырья применяется в процессе подготовки руды к мокрому обогащению.

Введение предварительного сухого обогащения руды позволяет выделить пустую породу в кусковом виде, благодаря чему можно расширить сырьевую базу любого месторождения путем вовлечения в переработку некондиционного сырья. При этом возможно решить проблему и его комплексной переработки.

Постановка задачи. Целью данной работы является обоснование необходимости сухой магнитной сепарации коренных титаносодержащих руд Украины, с максимальным выделением пустой породы и минимальными потерями как железа, так и ильменита в хвостах.

Изложение материала и результаты. Работа выполнялась на пробе руды одного из комплексных титаномагнетитовых коренных месторождений Украины. Оценка результатов опытов осуществлялась по определению содержания TiO_2 рентгеноспектральным анализом и изучением минерального состава исходных проб и продуктов их переработки оптическим методом

Согласно, результатов изучения вещественного состава руды, установлено, что рудные минералы представлены в основном, титаномагнетитом и ильменитом. Основными пороодообразующими минералами являются кварц, плагиоклаз и пироксены.

Рудные минералы в общей массе руды составляют 46,9 %. По магнитным свойствам все рудные минералы имеют существенные различия по сравнению с вмещающими породами. Так удельная магнитная восприимчивость кварца составляет от 1 до $10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а ильменита - от 16 до $960 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Как показали исследования, дробленная руда в крупности 60-0 мм имеет достаточное количество раскрытых преимущественно нерудных и частично рудных минералов.

Пробы в крупности 60-0 мм рассеивались на классы +10 и -10 мм.

Для сухого магнитного обогащения использовались барабанные и роликовые сепараторы с верхней подачей исходного питания: сепаратор магнитный БС-31,5/30-Н; сепаратор магнитный РС-22/30-Р; сепаратор магнитный СМБ1-59/14-Н. Магнитные сепараторы изготовлены ЧМП «НВФ «Продэкология» (рис. 1). Напряженность магнитного поля на поверхности барабана 0,16 Тл.

Сепарируемый продукт подавался на лоток вибропитателя и с его помощью направлялся и равномерно распределялся по всей рабочей зоне магнитного сепаратора. Под действием магнитного поля магнитный материал притягивался к рабочей поверхности сепаратора и перемещался вместе с ней.

При выходе из зоны магнитного поля магнитный материал под действием силы тяжести направлялся в бункер для приема концентрата. Немагнитный материал отделялся от поверхности рабочей зоны под действием центробежных и гравитационных сил и разгружался в бункер сброса хвостов. Разгрузка магнитного продукта происходила под действием центробежной силы в зоне отсутствия магнитного поля.