

Мец Ю. С. /д. т. н./, Антонов А. Ю. /д. т. н./,
Ткач В. В. /к. т. н./, Орел Т. В. /к. т. н./, Бабошко Д. Ю.
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Оценка энергоэффективности технологических процессов при интенсивном взрывном разрушении руд

Изложены результаты количественной оценки расхода энергетических и материальных ресурсов на дезинтеграцию в технологической цепи переработки руды «взрыв-дробление-измельчение» комплексным параметром энергоемкости. Ресурсосберегающая взрывоподготовка, которая проводится при дополнительных энергозатратах на взрывание в количестве 2,71-3,21 МДж/т руды приводит к перераспределению энергоматериальных затрат в цепочке «взрыв-дробление-измельчение» и к снижению энергоемкости процесса рудоподготовки на 4,85-6,53 МДж/т. Эксергетический КПД горно-обогажительного комбината повышается на $\eta_{\text{экс}}^{\text{отн}} = 0,13-0,14$ %. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: ресурсосберегающая взрывоподготовка, энергоемкость, перераспределение энергетических и материальных затрат, эксергетический КПД

The results of quantitative estimation of energy and material resources flow on disintegration in manufacturing chain of ore processing «explosion- breakdown-fine crushing» by complex parameter of energy content are stated. Resource-saving explosion preparation, which is fulfilled with additory energy demands for explosion at the rate of 2,71-3,21 MJ/t of ore leads to redistribution of energymaterial costs in the chain «explosion-breakdown-fine crushing» and to reduction of energy content of ore preparation process up to 4,85-6,53 MJ/t. Exergetic efficiency of ore mining and processing enterprise increases up to $\eta_{\text{экс}}^{\text{отн}} = 0,13-0,14$ %.

Keywords: resource-saving explosion preparation, energy content, redistribution of energymaterial costs, exergetic efficiency

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Рациональное использование энергетических, материальных и финансовых производственных ресурсов превращается в настоящее время в самую неотложную задачу. Вопросы энерго- и ресурсосбережения на горно-обогажительных предприятиях особенно остро стоят в технологических процессах добычи, дробления и измельчения железистых кварцитов, которые относятся к крепким ($f = 13-20$ по шкале Протодяконова) породам. Технологические процессы, связанные с разрушением полезных ископаемых, являются одними из основных потребителей первичных энергоресурсов (электроэнергии, взрывчатых веществ, топлива), металло- и материалоемких запасных частей, требуют проведения затратных восстановительных ремонтов основного технологического оборудования. Эти факторы оказывают влияние на технико-экономические показатели предприятия.

Анализ исследований и публикаций

Снижение энерго- и материалоемкости процесса разрушения руды является важной задачей горно-обогажительного комбината. По данным Национального института экономических исследований (НИЭИ) (<http://www.ier.kiev.ua/>), доля энергопотребления на подготовку сырья к

металлургическому переделу составляет 11-22 % общего объема энергоматериальных затрат по ГМК, а фактически, вследствие прямого влияния качества минерального сырья на технологические и технико-экономические показатели последующих технологических процессов, эта величина оказывается значительно выше [1]. Улучшение металлургических свойств конечной продукции горно-обогажительного комбината связано, в основном, с дополнительным расходом энергетических и материальных ресурсов в технологических операциях цепи переработки руды «взрыв-дробление-измельчение». Таким образом, необходимым условием применения новых технологических или технических методов улучшения качественных показателей металлургического сырья является неповышение энерго- и материалоемкости технологических циклов «взрыв-дробление-измельчение». Решение проблемы необходимо искать в комплексном подходе к вопросам энергоматериального сбережения, во-первых, использовать наименее энергоемкие способы разрушения руды на всех стадиях переработки руды, во-вторых, оптимизировать распределение энергозатрат в цепи «взрыв-дробление-измельчение», в-третьих, применять новые материалы и технологии [2]. Каждый в отдельности этап технологического процесса рудоподготовки потребляет

различные виды энергоматериальных ресурсов. Анализ распределения энергозатрат на горно-обогажительных комбинатах по видам энергоносителей показал, что комбинаты, в основном, потребляют электроэнергию, доля которой в энергобалансе предприятия достигает 53,7-63,9 %. На предприятиях с циклом окисления концентрата потребляется значительное количество природного газа, что соответствует 26,9-36,5 % общего энергопотребления. Часть энергобаланса (5,7-7,8 %) занимает дизельное топливо, расходуемое при транспортировании горной массы на дробильно-обогажительную фабрику и в отвалы. Доля взрывчатых веществ в энергобалансе горно-обогажительного комбината составляет 0,12-0,13 %. Все технологические процессы рудоподготовки потребляют значительное количество материальных ресурсов.

Разработка энергоэффективной технологии дезинтеграции руды на стадии добычи с одновременным интенсивным разупрочнением внутренней структуры рудных кусков было и остается одним из приоритетных направлений исследований. Удельные энергозатраты по стадиям дробления составляют от 0,25 до 0,9 кВт·ч/м³ руды при суммарных энергозатратах 1,85 кВт·ч/м³, а на измельчение – от 28 до 47,6 кВт·ч/м³. В настоящий момент накоплен практический опыт и научные знания в разработке способов внешнего воздействия на рудный материал перед заключительным этапом дезинтеграции – измельчение. В ряде работ обоснована целесообразность применения перед дроблением или измельчением немеханических способов воздействия на минеральное сырье, предполагая распад минеральных фаз с полным освобождением и сохранением извлекаемого минерала. Масштабы и качество селективного раскрытия зависят от структурных особенностей руды и размеров извлекаемых минералов, вида энергетического воздействия на материал [3]. Эти способы интенсификации относятся, в основном, к немеханическим способам воздействия на минеральное сырье.

Одним из способов немеханического воздействия на минеральное сырье является взрывное воздействие. Эксперименты показали перспективность воздействия взрыва на структуру горных пород с целью ее разупрочнения и создания условий для эффективной избирательной последующей дезинтеграции [4]. Возрастание плотности дефектов в зернах породообразующих минералов – необходимое условие избирательного измельчения. При взрыве железных руд происходит разрушение массива на куски, накопление микродефектов в них. От плотности и места их концентрации в рудных кус-

ках зависят полнота раскрытия зерен компонентов руды, а также их физико-химические свойства. Пластическая деформация полиминеральных кусков в дезинтеграционных аппаратах связана с движением микродефектов структуры через минералы к границам их срастания. Взаимодействие микродефектов зерен минералов между собой и с межзерновым пространством приводит к появлению микротрещин по границам контакта минералов, например, магнетит-кварц, магнетит-гематит, что способствует повышению селективности их раскрытия [5].

Постановка задачи

В процессе разрушения природного рудного поликристаллического материала для эффективного последующего дробления и измельчения необходимо создать в рудных кусках повышенную концентрацию макро- и микродефектов структуры. Эти элементы структуры, являясь энергетическими аккумуляторами энергии силового воздействия на рудный материал на ранних стадиях разрушения, будут способствовать снижению энергопотребления в последующих циклах разрушения руды, перераспределению энергозатрат между стадиями дезинтеграции в цепи «взрыв-дробление-измельчение». Необходимо оценить количественно энергоэффективность ресурсосберегающей взрывоподготовки.

Изложение материала и результаты исследования

Анализ взрывных работ на железорудных карьерах горно-обогажительных комбинатах Украины и РФ показал, что при среднем расходе ВВ 1,08-1,12 кг/м³ горной массы с учетом коэффициента вскрыши энергоемкость процесса составляет 2,68-3,18 МДж/т сырой руды. Одним из эффективных направлений комплексного подхода к процессу дезинтеграции является метод ведения взрывных работ проф. Ю. С. Меца, основанного на эффекте взрывной усталости горных пород и позволяющий получать взорванную горную массу с другими, отличными от традиционной технологии физико-механическими свойствами [6, 7]. Добыча руды по ресурсосберегающей взрывоподготовке основана на новых методиках ведения взрывных работ с использованием явления взрывной усталости. Одним из основополагающих факторов разработанной технологии является проведение взрывания горной массы с повышением расхода ВВ до 2 кг/м³, что соответствует энергоемкости процесса взрывания 4,25-5,89 МДж/т сырой руды. В таблице приведен сравнительный гранулометрический состав взорванной массы руды по традиционной и предложенной технологии. Условно

ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

максимальная крупность кусков руды полученной при обычном взрывании составляет 930 мм, а при ресурсосберегающей взрывоподготовке – 750 мм, и взорванная масса характеризуется повышенным выходом мелких фракций.

нос броней дробилок, зубьев и напорных тросов экскаваторов, конвейерных лент транспортного цикла руды и др. узлов технологического оборудования. При интенсивном взрывном дроблении в силу перемещения породы (хо-

Таблица

Гранулометрический состав взорванной массы

Расход ВВ, кг/м ³	Гранулометрический состав, %							Диаметр среднего куска, мм	Энергоемкость механического разрушения, кгс/м ²	Коэффициент относительной эскавируемости	Коэффициент разрыхления
	+1200 мм	+1000 мм	+200 мм	+75 мм	+20 мм	+10 мм	-10 мм				
0,8-1	0,5	2	45	80	95	98	2	260	4500	20-25	1,4
2,0*	0,01	0,1	20	40	65	85	15	100	2000	6,8	1,1

Примечание. * – С эффектом взрывной усталости.

При меньшем удельном расходе ВВ на взрывание механическому крупному дроблению подвергается 46 % исходной взорванной руды. При увеличении удельного расхода ВВ механическому крупному дроблению подвергается только 20 % руды поступающей из забоя карьера. Это повышает производительность дробильного комплекса и способствует снижению энергетических затрат на дробление. Согласно исследованиям Муизеснек Ю. А., крупность продуктов дробления зависит не только от конструктивных параметров конусных дробилок, но и от крепости дробимой породы, особенно для дробилок мелкого дробления. Взрывное нагружение при новых методах взрывания снижает крепость руды с $f = 18-20$ до эквивалентных $f = 11-13$ по Протодьяконову за счет увеличения количества макро- и микродефектов в рудных кусках (разупрочнение) [2, 3]. Таким образом, ресурсосберегающая взрывоподготовка за счет уменьшения условно максимальной крупности кусков руды с 930 мм до 750 мм и крепости руды приводит к снижению затрат электроэнергии на дробление на 23,8-27,3 % или с 0,383 кВт·ч/м³ до 0,280-0,291 кВт·ч/м³. Энергоемкость процесса крупного дробления при этом снизится на 0,12-0,14 МДж/т дробленной руды [1, 8]. При прохождении разупрочненной руды через дробилки среднего и мелкого дробления удельный расход электроэнергии снизится на эти технологические операции с 0,798 до 0,615 кВт·ч/м³ и с 1,041 до 0,797 кВт·ч/м³, соответственно. Энергоемкость процесса среднего и мелкого дробления снизится на 0,25 МДж/т и 0,34 МДж/т дробленной руды, соответственно. Общее снижение энергоемкости процесса дробления руды по технологии ресурсосберегающей взрывоподготовки составит 0,71-0,73 МДж/т дробленной руды.

Снижение крупности и крепости взорванной руды окажет положительное влияние на из-

рошая подвижка) за счет уменьшения размера среднего куска руды обеспечиваются облегченные условия работы экскаваторов на перегрузках. Вследствие этого можно утверждать, что при работе в забоях с интенсивным взрывным дроблением следует ожидать меньшего расхода напорных тросов в 1,2-1,3 раза из-за понижения коэффициента эскавируемости породы с 20-25 до 6,8 и сокращения количества ремонтодней. За счет исключения технологической операции по разборке породы, возможно снижение расхода зубьев экскаваторов в 4-5 раз (расчеты выполнены применительно к экскаваторам ЭКГ-8И). При одинаковой общей производительности цикла дробления износ броней крупного дробления уменьшится предположительно в 3,5 раза, а броней среднего и мелкого дробления – в 1,5-2,2 раза по сравнению с переработкой обычной руды. Таким образом, период между сменой броней увеличится в 1,5-3,5 раза. Снижение материалоемкости процесса цикла «взрыв-дробление» за счет повышения срока службы изнашиваемых узлов оборудования экскаватора и броней дробилок составит 0,3 МДж/т. Одним из составляющих параметра энергоемкости горно-транспортного цикла является величина энергоматериальных затрат на восстановление конвейерных лент. Обработка статистических данных по эксплуатации конвейерных лент на дробильно-обогащительных фабриках Кривбасса показала, что при транспортировании крупнокусковой руды (400-0 мм) лента изнашивается в два раза быстрее, чем при транспортировании руды более мелкой (100-0 мм). После крупного дробления размер среднего куска руды, взорванной с удельным расходом ВВ 0,8-1 кг/м³ (2,68-3,18 МДж/т), составляет 150 мм, а после прохождения через дробилку руды, взорванной новым способом (4,25-5,89 МДж/т) – 85 мм, т. е. меньше в 1,8-2 раза. Следует ожидать увеличение срока служ-

бы конвейерной ленты в 1,3-1,5 раза. Энергоемкость процесса транспортирования горной массы с учетом снижения износа конвейерной ленты уменьшится на 0,15-0,17 МДж/т руды. Таким образом, ресурсосберегающая взрывоподготовка, которая требует дополнительных энергозатрат на взрывание в количестве 2,71-3,21 МДж/т руды (с 2,68-3,18 МДж/т до 4,25-5,89 МДж/т) способствует снижению энергоемкости на стадиях экскавации, транспортирования и дробления на 1,86-2,54 МДж/т. Экспериментальные исследования процесса дробления руды разной крепости после ресурсосберегающей взрывоподготовки на дробилках КМД показали, что средняя крупность дробленого продукта снижается с 16 мм до 9,6 мм. Это способствует повышению производительности мельниц 1 стадии измельчения. Так, при измельчении руды после ресурсосберегающей взрывоподготовки за счет разрушения рудных кусков и снижения крупности питания мельницы 1 стадии измельчения следует ожидать снижение удельного расхода электроэнергии на измельчение на 20-25 %, что соответствует уменьшению энергоемкости процесса на 5,7-7,2 МДж/т. Таким образом, ресурсосберегающая взрывоподготовка, которая проводится при дополнительных энергозатрат на взрывание в количестве 2,71-3,21 МДж/т руды приводит к перераспределению энергоматериальных затрат в цепочке «взрыв-дробление-измельчение» и к снижению энергоемкости процесса рудоподготовки на 4,85-6,53 МДж/т. Общий КПД горно-обогатительного комбината, рассчитанный по методике [1] повышается на $\eta_{\text{экс}}^{\text{отн}} = 0,13-0,14$ %.

Выводы

1. Ресурсосберегающая взрывоподготовка руды проводится при повышении энергоемкости процесса взрывания на 2,71-3,21 МДж/т. Энергоемкость последующих технологических операций снижается:

- на 1,86-2,54 МДж/т процессов экскавации, транспортирования и дробления взорванной руды;

- на 5,7-7,2 МДж/т процесса 1 стадии измельчения.

2. Ресурсосберегающая взрывоподготовка приводит к перераспределению энергоматериальных затрат в цепочке «взрыв-дробление-измельчение» и снижению энергоемкости процесса рудоподготовки на 4,85-6,53 МДж/т. Общий КПД горно-обогатительного комбината с учетом перераспределения энергетических и материальных затрат повысится на $\eta_{\text{экс}}^{\text{отн}} = 0,13-0,14$ %.

Библиографический список

1. Губин Г. В., Ткач В. В., Дядечкин Н. И. Комплексная оценка энергопотребления в горно-металлургическом производстве // Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 79-81.

2. Обоснование энергосберегающих технологий дезинтеграции горных пород // А. В. Голованов, В. В. Габов, А. И. Сапожников и др. // Горный журнал. – 2012. – № 11. – С. 11-14.

3. Ревнивцев В. И. О рациональной организации процесса раскрытия минералов в соответствии с современными представлениями физики твердого тела // Совершенствование и развитие процесса подготовки руд к обогащению. – Л.: Тр. Механобра. – Вып. 140. – С. 151-169.

4. Серго Е. Е., Загубыбатько Т. М. Влияние вторичного взрывного нагружения на показатели обогащения руды СевГОКа // Обогащение полезных ископаемых // Респ. Межведом. Научно-технический сборник. – К.: Техника. – 1992. – Вып. 41. – С. 6-9.

5. Губин Г. В., Орел Т. В., Ткач В. В. Структурные изменения в минералах при измельчении в шаровых мельницах // V конгресс обогатителей стран СНГ. – Материалы конгресса. Том II. – М.: Альтекс, 2005. – С. 43-44.

6. Мец Ю. С. Исследование усталости горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1983. – № 1. – С. 42-47.

7. Мец Ю. С. Технологическая эффективность супердробления железистых кварцитов // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 1980. – № 4.

8. Степанов В. С. Анализ энергетического совершенства технологического процесса. – Новосибирск: Наука, 1984. – 274 с.

Поступила 26.01.2015

