УДК 622.235

В.А.БЕЛИН, В.Н.АНИСИМОВ
Московоский государственный горный университет, Россия

НОВЫЕ СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАССИВОВ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРИ ВЗРЫВНОЙ РУДОПОДГОТОВКЕ

Приведены результаты исследования взрывной рудоподготовки сложноструктурных массивов железистых кварцитов, методики расчета параметров БВР с учетом особенностей строения и генезиса подобных массивов, а также результаты экспериментальных исследований деструкции железистых кварцитов и ее влияния на показатели рудоподготовки.

Results of research explosive ore preparation, difficult structures files of ferruterous quartzites, a design procedure of parameters БВР are resulted in view of features of a structure and genesis of similar files. Results of experimental researches destruczie ferruterous quartzites and its influence on parameters ore preparation are resulted.

Существующий процесс рудоподготовки весьма энергоемкий и дорогостоящий, поскольку дробление и измельчение руд сопровождается большими затратами.

Если в процессе рудоподготовки не обеспечивается необходимая избирательность дробления и степень раскрытия железосодержащих минералов, то это приводит к неполному извлечению металла, значительным его потерям в хвостах обогащения.

В работе [5] отмечено, что для улучшения раскрытия минералов могут быть использованы механические, термический, акустический и другие способы воздействия, которые должны вызвать слияние дислокации, зарождение и развитие микротрещин, концентрацию микродефектов по границам зерен. В работах [3, 6] отмечено влияние магнитно-импульсной обработки (МИО) в условиях обогатительных фабрик на измельчаемость и обогатимость минерального сырья.

Известна обработка руды, находящейся в разрушенном состоянии, при помощи мощных генераторов импульсов тока и напряжения при движении горной массы по ленточному конвейеру или в пульповоде. Ранее исследования в этом направлении уже проводились в институте Геологии (Чехия), в нашей стране в институте «Уралмеханобр» и в условиях Кривбасса еще в начале 70-х гг. прошлого века. Однако это направление исследований, как ранее, так и сегодня, не решает кардинально проблему ресурсосбережения. На последних стадиях традиционного обогатительного передела при КПД мельниц порядка 2 % для раскрытия рудных минералов используется ничтожная доля энергии, остальная энергия – это, в основном, тепловые потери в трансмиссиях и т.п. Метод МИО эффективен для размагничивания и разделения флокул перед магнитной сепарацией и не оказывает существенного влияния на снижение энергозатрат передела.

В концептуальном плане представляет интерес создание малооперационной ресурсосберегающей технологии рудоподготовки, основанной на предварительном ослаблении прочностных свойств рудного массива. Впервые работы в этом направлении были начаты в 1985 г. В работе [4] отмечается влияние ЭМП на свойства массива (снижение прочностных свойств косвенно оценено по скорости бурения) уже на стадии ведения буровзрывных работ, на долю которых приходится всего 6 % энергозатрат передела руды.

Сопоставление основных особенностей различных способов воздействия на руду позволяет утверждать, что наиболее технологичен в настоящее время взрывной (комбинированный) способ нагружения, кото-

рому руда подвергается уже в процессе взрывной отбойки от массива в карьере или руднике. Взрывное нагружение позволяет обеспечить необходимую интенсивность и кратность нагрузок, высокую скорость их приложения, способствующую снижению пластических деформаций и соответствующих потерь энергии, т.е. отвечает основным требованиям рациональной организации процесса раскрытия минералов. Для осуществления этого способа не требуется дополнительных установок и устройств, он не усложняет технологию рудоподготовки [2, 4].

Изменения структуры минералов, вызванные взрывным (комбинированным) способом нагружения, обусловлены взаимодействием волн напряжений с несовершенствами кристаллической решетки в объеме минералов и по границам зерен.

Наши работы связаны с исследованием и разработкой рациональных параметров взрывной рудоподготовки для сложноскладчатых участков на примере карьера Стойленского ГОКа и детальным изучением основных закономерностей складчатой структуры месторождения, трещиноватости (блочности), вещественного состава и прочностных свойств железистых кварцитов.

Для проектирования параметров БВР сложноструктурных массивов важной и неотъемлемой частью исходной информации является информация о геолого-структурных особенностях железистых кварцитов, которые включают в себя комплекс структурных характеристик массива: особенности вещественного состава, трещиноватости, блочности, прочностных свойств, пространственное положение элементов складчатой структуры в пределах взрываемых блоков.

На основании анализа теоретических исследований геологической информации (геологических карт, отображающих складчатую структуру месторождений) натурных наблюдений в первом приближении выявлены основные закономерности расположения сети тектонических трещин, что делает возможным прогнозирование параметров БВР по степени трещиноватости, блочности, прочностным показателям на площадях, еще не вскрытых горными работами на карьере Стойленского ГОКа.

Основные пликативные структуры на Стойленском месторождении представлены многосложными антиклинальными и синклинальными складками, внутренние приосевые зоны которых образованы утолщенными замками частных складок. Эти зоны наиболее крупноблочные. На геологических картах выделены приосевые (внутренние) зоны и наружные части (крылья) сопряженных антиклинальных и синклинальных складок, различающиеся по категории трещиноватости и коэффициенту крепости пород. Эти зоны имеют вид полос, вытянутых в северо-западном направлении и чередующихся в поперечном сечении складчатой структуры.

В толще железистых кварцитов развиты тектонические трещины, сопряженные со складчатостью. Для Стойленского месторождения характерны трещины отрыва северовосточного и трещины скалывания северозападного простираний с наклонными и субвертикальными углами падения.

Трещины в массиве образуют сеть, т.е. закономерно построенную совокупность трещин, обусловленную взаимным пересечением трещин разных систем. Каждая из них определенным образом ориентирована по отношению к простиранию складок, их шарнирам и слоистости пород.

Общие закономерности относительного расположения тектонических трещин, связанных с одним актом деформации, можно представить в виде эллипсоида деформации. Короткая ось эллипсоида деформации ориентирована примерно перпендикулярно к простиранию складчатости.

Выделяются тектонические трещины пяти систем.

Трещины первой системы – послойные или продольно параллельные трещины (продольные относительно простирания осевых поверхностей складок и параллельные относительно слоистости). Образование их связано с межслоевым скольжением, которое происходило при изгибе пластов в процессе складкообразования.

Трещины второй системы – поперечные нормально секущие слоистость трещины отрыва (расположены поперек складчатости и слоистости), почти перпендикулярные шарнирам складок.

Трещины третьей системы – продольные нормально секущие слоистость трещины отрыва, субпараллельные шарнирам складок.

Трещины четвертой системы – субпродольные кососекущие слоистость трещины скалывания, ориентированы вдоль складок субпараллельно осевой поверхности.

Трещины пятой системы – диагонально кососекущие слоистость трещины скалывания образуют с шарниром складок в плоскости углы по 35-45°.

Трещины второй системы всегда перпендикулярны или почти перпендикулярны шарниру складок, а трещины третьей системы перпендикулярны или почти перпендикулярны к трещинам второй системы.

Наиболее распространены трещины первых трех систем. Взаимно пересекающиеся ряды этих трещин расчленяют массив на структурные блоки параллелепипедальной (иногда призматической) формы с преобладанием размеров в пределах от 30 × 50 × 60 до 80 × 120 × 50 см.

Размеры и форма тектонической делимости пород в складчатых структурах зависят от элементов складок: для крыльев характерны призматические и параллелепипедальные, а для замков кубические формы, причем размеры в замках складок увеличиваются в 1,5-2,5 раза. Естественную блочность массива необходимо учитывать при производстве буровзрывных работ.

Выполненный анализ геолого-структурных особенностей и железистых кварцитов позволил сформулировать следующие рекомендации для проектирования параметров БВР сложноструктурных массивов:

- при картировании масштаба 1 : 1000 на геологической документации необходимо уточнять положение осевых поверхностей пликативных структур;
- при производстве БВР в карьере помимо категории трещиноватости и коэффициента крепости в кварцитах определенного петрографического состава важно учитывать угол падения шарниров складок и пространственное положение структурно-неоднородных зон, которые могут играть роль волноводов и существенно влиять на сейсмику взрыва;
- фронт горных работ ориентируют вдоль приосевых зон синклинальных и антиклинальных складок с учетом простирания и угла падения слоев;
- в приосевых зонах осуществляют большее энергонасыщение массива (сужение сетки скважин, более мощное ВВ, специальные схемы коммутации зарядов и др.);
- вруб (врубы) располагают в приосевой зоне синклинальных складок: диагональные ряды скважинных зарядов располагают с обеспечением отбойки от оси синклинали в глубь массива в сторону соседней антиклинали, т.е. с отделением и перемещением отбитой массы по падению слоев. При наличии нескольких врубов их инициируют одновременно.

Анализ результатов геологических (полевых) и лабораторных методов исследования показал, что на состояние микроструктуры, а следовательно, на технологические свойства железистых кварцитов влияет характер складчатости. Железистые кварциты в приосевых зонах складок, размер которых составляет 0,1-0,15 ширины складки, обладают худшими технологическими свойствами. Это обусловлено меньшим (на 2-3 %) содержанием железа, меньшим размером зерен магнетита, его агрегативностью, более сложными границами минеральных срастаний. Железистые кварциты в приосевых зонах характеризуются небольшой степенью трещиноватости и худшей взрываемостью.

Совместное измельчение железистых кварцитов из внеприосевых и приосевых зон ведет к переизмельчению зерен магнетита из внеприосевых зон и увеличению потерь железа.

При проведении лабораторных исследований установлено, что оптимальное удельное энергонасыщение в приосевых зонах складок при взрывоподготовке определяется степенью отличия пород, располо-

женных в них, от пород вне их и зависит от параметров складки.

Результаты исследований по определению оптимального соотношения удельного энергонасыщения вне и внутри приосевой зоны при различных ширине и минералогическом типе железистых кварцитов показали оптимальное удельное энергонасыщение в приосевой зоне, при котором необходимая степень раскрытия рудных минералов достигается при наибольшем среднем диаметре рудных зерен, что увеличивает магнитную восприимчивость и снижает коэрцитивную силу и остаточную намагниченность измельченной руды. Такое изменение прочностных и магнитных свойств обуславливает увеличение выхода нерудной фракции +0,14 мм и наибольший прирост содержания железа в концентрате при магнитном обогащении [1].

Установлено, что для каждого технологического типа железистых кварцитов, в зависимости от исходного состояния его микроструктуры, существует предельное значение амплитуды взрывного нагружения, при котором начинаются необратимые пластические деформации в зернах магнетита. Накопление дефектов происходит в основном по границам зерен породообразующих минералов, особенно в кварцевых прослоях.

При амплитуде взрывного нагружения свыше 200 МПа изменения микроструктуры приводят к интенсивному росту трещин, видимых в оптический микроскоп.

В промышленных условиях уже проводилась оценка изменения состояния микроструктуры и технологических свойств железистых кварцитов, взорванных с различным удельным расходом ВВ в приосевых зонах [1].

В качестве примера осуществления проектирования параметров БВР сложноструктурного массива железистых кварцитов можно привести Стойленское месторождение.

На основании результатов геолого-технологического картирования сложноскладчатого рудного массива месторождения на погоризонтных планах (см. рисунок) отображены главные направления синклиналей (С) и антиклиналей (А) (пунктирная линия). Направление фронта горных работ ориентируют вдоль приосевых зон.

Врубы располагают в зоне синклиналей. На фронте работ в северо-западном и юго-восточном направлении направление

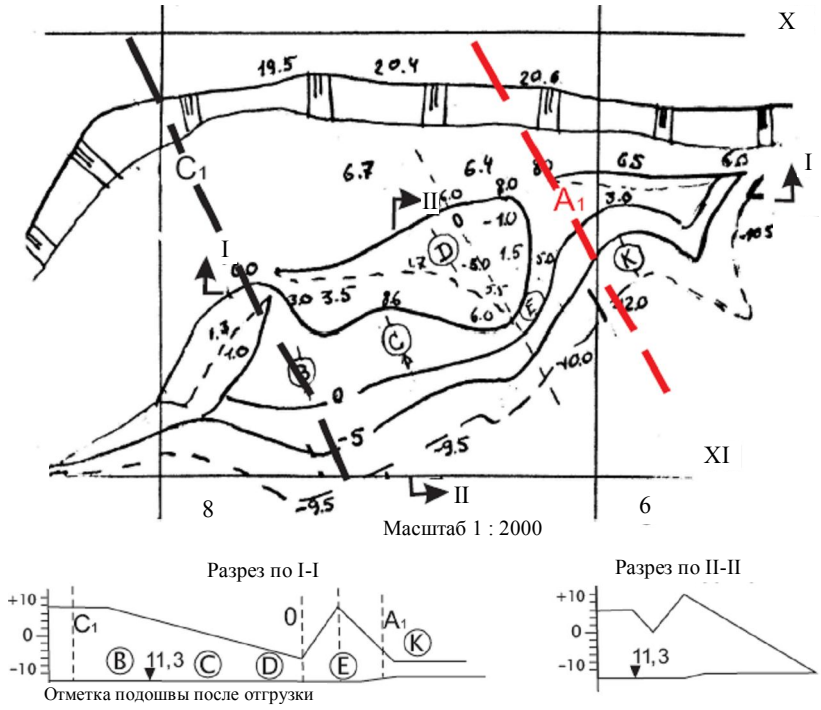


Схема развала горной массы блока № 28 (гор. –10)

отбойки, вектор потока энергии взрыва устанавливают от оси синклиналей в глубь массива в сторону соседней антиклинали по падению слоев. В юго-восточном направлении фронта работ направление отбойки устанавливают от оси синклинали в сторону соседней антиклинали. Большее энергонасыщение массива в зоне антиклинальных складок обеспечивают за счет одновременного инициирования врубов.

В качестве результатов одного из вариантов опытно-промышленной проверки концепции взрывной рудоподготовки сложноструктурных массивов железистых кварцитов можно привести блок № 28 (гор. –10) На основании анализа геоструктурных особенностей блок спроектирован и взорван по схеме формирования и инициирования двух врубов.

Анализ распределения кусковатости по фракциям после взрыва в различных зонах развала (см. таблицу) показывает, что в зоне *D* сосредоточено до 73 % фракций размером < 250 мм, что свидетельствует о повышенной концентрации энергонасыщения в приосевой зоне антиклинали за счет соответствующей ориентации вектора потока энергии взрыва и взаимодействия волн напряжений скважинных зарядов ВВ на указанной зоне. После взрыва блока кусков породы размером > 500 мм не наблюдалось. Проработка подошвы ниже проектной на 1 м указывает на повышенную концентрацию энергии и эффективность взрывания при 2-врубовой схеме короткозамедленного взрывания в соответствии с особенностями структурных элементов массива.

Распределение фракций по размерам

Фракции *f*, мм	Зоны блока № 28 гор. –10, %					*f* сред, %
	B	C	Д	E	K	
< 250	67	70	73	64	60	69
250	23	22	13	27	25	22
500	10	8	4	9	15	9
> 500	–	–	–	–	–	–

Анализ результатов исследования показывает, что увеличение энергонасыщения в приосевой зоне обеспечивает повышение качества концентрата на более ранней стадии измельчения.

Эксперименты в промышленных условиях подтверждают возможность создания неравномерного удельного энергонасыщения по взрываемому блоку при взрывной отбойке с учетом состояния микроструктуры железистых кварцитов в приосевых и внеприосевых зонах складок, что обеспечивает оптимальный режим их совместного измельчения. При этом необходимая степень раскрытия рудных зерен достигается на более ранних стадиях измельчения и повышается выход нерудной фракции крупностью +0,14 мм. Прирост производительности мельницы составляет 3,2 т/ч, выход нерудной фракции крупностью +0,14 мм увеличивается на 1,01 %, а содержание железа в концентрате – на 0,05 %. Затраты на измельчение снижаются более чем на 6,0 %.

Выводы

1. Применение комбинированного воздействия импульсов волн напряжений, генерируемых взрыванием скважинных зарядов с ЭМП, с целью разработки малооперационной ресурсосберегающей технологии диспергирования сложноструктурных массивов горных пород для повышения показателей дальнейшей рудоподготовки, весьма перспективно.

2. Повышение показателей взрывной рудоподготовки сложноструктурных массивов железистых кварцитов можно достичь путем перераспределения энергии взрыва в соответствии с геологическим строением массива подвигания фронта работ в направлении, параллельном осям складок. Врубы

располагают в приосевых зонах синклиналей; отбойку ведут под углом к осям синклиналей, а детонацию в глубь массива осуществляют в направлении соседней антиклинали. В приосевых зонах синклиналей и антиклиналей создают большее энергонасыщение массива. При наличии двух и более врубов инициирование осуществляют одновременно с интервалом замедления, обеспечивающим взаимодействие динамических волновых воздействий зарядов ВВ при условии:

- оптимальной ориентации вектора потока энергии взрыва относительно структурных элементов массива. Это позволяет достигнуть согласования уровня энергонасыщения разрушаемого объема пород со структурно-текстурными особенностями, прочностными характеристиками, повышения качественных показателей обогатительного передела;
- взаимодействия импульсов, генерируемых скважинными зарядами, и одновременное наложение электромагнитного поля при разрушении массива железистых кварцитов, которые обеспечивают улучшение технологических показателей последующего передела рудной массы и снижение потерь железа в хвосты ОФ, решение геоэкологических проблем добычи и последующей переработки полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анисимов В.Н.* Концепция малооперационной ресурсосберегающей технологии взрывной рудоподготовки железистых кварцитов с применением дополнительных импульсных волновых воздействий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 7.

2. *Анисимов В.Н.* Взрывная рудоподготовка сложноструктурных массивов железистых кварцитов / В.Н.Анисимов, В.В.Семенов // Горный журнал. 2003. № 6.

3. *Гончаров С.А.* Разупрочнение железистых кварцитов методом импульсной электромагнитной обработки / С.А.Гончаров, П.П.Ананьев, В.П.Бруев // Горный журнал. 2004. № 1.

4. *Дербенев Л.С.* Подготовка железистых кварцитов на стадии ведения буровзрывных работ в комбинированном поле напряжений / Л.С.Дербенев, В.Н.Анисимов // Совершенствование буровзрывных работ на горнодобывающих предприятиях КМА: Тез. докл. конф. по БВР. г.Губкин. 1985.

5. *Ревнивцев В.И.* О рациональной организации процесса раскрытия минералов в соответствии с современными представлениями физики твердого тела // Труды «Механобра». 1975. Вып.140.

6. *Чантурия В.А.* Механизм дезинтеграции минеральных сред при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В.А.Чантурия, И.Ж.Бунин, А.Т.Ковалев // Известия АН. 2004. Т.68. № 5.