

ФИЗИКО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ РУДОПОДГОТОВКИ



С. К. Рубцов,
начальник лаборатории
ВНИПИпромтехнологии,
канд. техн. наук



Н. А. Зинько,
главный инженер
Северного РУ НГМК



В. И. Филь,
зам. главного инженера
Северного РУ НГМК

Процесс разрушения горных пород при взрывании современных штатных химических взрывчатых веществ – результат развития естественных статистически распределенных в массиве микро- и макротрещин, поскольку реализуемая при этом взрыве энергия на три порядка и более ниже той, которая необходима для преодоления в разрушаемой среде сил молекулярного сцепления и создания новых трещин с после-

дующим формированием новой среды с новыми структурой и технологической прочностью. Действительно, при внутренней потенциальной энергии химических ВВ в пределах 4900 кДж/кг такое разрушение горных пород потребовало бы удельного расхода в пределах $1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$ кг/м³, тогда как фактические удельные расходы находятся в пределах первого десятка. Поэтому разрушение горных пород под действием промышленных взрывов реализуется лишь по системе естественных статистически распределенных микро- и макротрещин, определяющих техническое сопротивление среды разрушению [1, 2].

Трещина, с позиции современных представлений о строении твердых тел, – это местное нарушение сплошности материала (полость, микро- или макропустота) любой формы и размеров. Общее разрушение материала среды происходит при достижении средним напряжением прочности самого слабого дефектного участка, т. е. прочность всей системы определяется прочностью этого участка. Согласно статистической теории прочности, дефекты неравномерно распределены по объему среды вследствие неоднородности структуры. В горных породах наличие дефектов связано с длительными тектоническими процессами, местными изменениями пород в результате процессов каолинизации, хлоритизации, окварцевания, постмагматических изменений и др.

Главная роль в процессе разрушения скальных пород взрывом принадлежит действию волн напряжений (ударная волна и волна сжатия), являющихся следствием удара массы газообразных продуктов взрыва о стенки зарядной камеры. С учетом этого современные инженерные методы управления энергией взрыва основаны главным образом на управлении параметрами волн напряжений. Примерно 60–65 % объема разрушения горных пород связано с действием взрывных волн напряжений и, соответственно, 35–40 % – с действием газообразных продуктов взрыва. Долевое участие газового фактора увеличивается в горных породах с низкой акустической жесткостью и снижается в породах с высокой жесткостью. Преобладающее участие волн напряжений в процессе разрушения крепких горных пород характеризует создание предраз-

рушения среды по естественно существующим статистически распределенным микро- и макротрещинам; полное разрушение среды (разлет, формирование развала и частичное додрабление в процессе соударения движущихся кусков) завершается под действием остаточного давления газообразных продуктов взрыва [1, 3].

Степень взрывного разрушения горных пород, рассеченных системой микро- и макротрещин, обуславливающих трещиноватость массива, определяется его упругими параметрами: скоростью распространения продольных и поперечных волн напряжений, коэффициентом Пуассона, скоростью роста трещин, а также скоростью детонации ВВ и его плотностью, необходимыми для обеспечения в среде распространения трещин в режиме предельной скорости перевода упругой энергии, накопленной средой при распространении в ней волн напряжений, в поверхностную энергию раскрытия и роста трещин.



Транспортирование горной массы в карьере

Физическое состояние разрушаемой среды, когда плотность энергии взрыва по всему разрушаемому объему достигает необходимого критического значения, при которой во всем разрушаемом объеме происходит рост трещин с постоянной скоростью, приближающейся к скорости волн Рэлея, соответствует достижению предельной энергоемкости качественного дробления. Превышение в среде удельной плотности энергии свыше той, что необходима для обеспечения отмеченного режима, не ведет к заметному улучшению качества дробления, так как рост трещин в этом случае замедляется, качество дробления стабилизируется или несколько ухудшается, а растет лишь кинетическая энергия выброса [2].

Максимальное и интенсивное использование энергии взрыва достигается при реализации предельной энергоемкости разрушения массива, количественно характеризуемой удельным расходом ВВ. В этом случае при взрывной отбойке и дроблении энергия разрушения расходуется не только на образование новых поверхностей (взрывное дробление), но и на создание сети зародышевых микротрещин, разупрочняющих материал и увеличивающих эффективность последующих процессов дробления и измельчения [1, 3, 4]. В основу такой технологии взрывания положено основное требование – направленное изменение основных показателей качества исходной руды: гранулометрического состава и прочностных свойств на всех стадиях ее добычи и переработки, способствующее созданию наиболее благоприятных условий для раскрытия рудных минералов и сростков. При этом взрывная отбойка, дробление и измельчение руды являются элементами единого процесса подготовки рудной массы, называемого рудоподготовкой. Экспериментально установлено, что на процессы механического дробления и измельчения руды приходится 98,8 % всех энергетических затрат на рудоподготовку, доля энергозатрат на взрывное дробление составляет лишь 1,2 %. В связи с этим взрывной способ обладает потенциальной возможностью для более высокой дезинтеграции (разупрочнения) руды, что является предпосылкой для перераспределения энергозатрат между взрывным и механическим дроблением и измельчением [5, 6].

В настоящее время рост мировых цен на золото оказывает благоприятное влияние на развитие золотодобывающей промышленности, улучшаются текущие производственные показатели, растет инвестиционная привлекательность вновь осваиваемых золоторудных месторождений [7]. В то же время в странах СНГ, в том числе и в России, существует диспропорция между структурой запасов золота и его добычей. Разведанные запасы золота распределены следующим образом: россышные – 19 %, коренные руды – 80 %. При этом последние могут обеспечивать добычу золота в полном объеме в течение 20–30 лет и более. Таким образом, для сохранения и увеличения темпов производства золота необходимо совершенствовать переработку коренных руд.

Большинство коренных золотосодержащих сульфидных руд месторождения Кокпатас, разрабатываемого Навоийским ГМК, относятся к категории упорных руд с довольно низким содержанием золота. Вовлечение коренных руд в переработку сопряжено с преодолением технологических трудностей, обусловленных «физической» и «химической» упорностью руд. «Химическая» упорность преодолевается процессами флотационного обогащения, окислительного обжига, автоклавного

окисления, биометаллургического выщелачивания и др., а «физическая» – энергоемкими способами измельчения руд, термической обработкой сульфидных концентратов и нетрадиционными методами вскрытия сульфидов путем применения высокзатратных энергетических воздействий (электрохимическое окисление, поток ускоренных электронов, СВЧ-нагрев, электроимпульсное и электрогидродинамическое воздействие, магнитно-импульсная обработка и др.) [8].

Взрывной способ – головной процесс единой системы рудоподготовки в технологическом потоке «горнодобывающее предприятие – перерабатывающее производство» обладает потенциальной возможностью для более высокой первоначальной дезинтеграции руды, что может способствовать перераспределению энергозатрат от механического дробления и измельчения к низкзатратному взрывному способу.

Большая направленность взрывного воздействия на дробление в соответствии с энергоемкостью разрушения пород наряду с улучшением собственно дробления предопределила снижение прочностных свойств взорванной руды, что подтверждается оценкой показателей работы мельниц измельчения в условиях ГМЗ-2 Навоийского ГМК. Энергетические затраты на измельчение руды, характеризуемые расходом электроэнергии, снизились в среднем на 9 %; производительность мельниц измельчения по сухому продукту возросла на 16 %, по выходу исходного продукта класса крупностью $-0,074$ мм – на 8 %, что способствовало увеличению объемов перерабатываемой руды и дополнительному получению металла; расход мелющих шаров сократился на 7–8 % [5, 9].

Эффективность переработки больших объемов коренных упорных и бедных по содержанию золота сульфидных руд месторождения Кокпатас достигается за счет внедрения технологии предварительного обогащения руд путем рентгенорадиометрической посамосвальной сортировки (РКС) и рентгенорадиометрической покусковой сепарации на местах добычи руд (РСК), что позволяет исключить из переработки значительные объемы горнорудной массы с некондиционным содержанием металла и повысить его содержание в рудном концентрате, направляемом на переработку.

С позиции эффективного функционирования комплекса РСК необходимо подавать на рассортировку фракции дробления с максимальным линейным размером куска в пределах $-200+100$; $-100+50$; $-50+25$ мм. Классы крупностью -25 мм обычно не поддаются рентгенорадиометрической машинной сортировке по естественной или наведенной активности, в связи с чем дальнейшей переработке подвергаются излишние объемы пустой по-

роды, забалансовых руд или, наоборот, нарушается процесс заводской технологии с повышенным выходом металла в «хвосты». Классы крупностью $+200$ мм перед сортировкой подвергаются дополнительному дроблению. Как первое, так и второе обстоятельства отрицательно влияют на технико-экономические показатели горно-металлургического передела руды, эффективность извлечения полезных компонентов и общую себестоимость продукции. Изложенное определяет народнохозяйственную важность и необходимость повышения выхода машинных классов при взрывании рудных уступов.

С целью повышения выхода машинных классов в настоящее время применяются методы взрывания скважинных зарядов с осевыми и продольными воздушными промежутками, зарядов увеличенного диаметра. В каче-



Буровые станки в работе

стве ВВ используются простейшие взрывчатые составы – игданиты, гранулиты и т. п. Применение таких методов взрывания позволяет повысить в среднем выход машинных классов на 14–20 %, при этом средний размер взорванного куска увеличивается на 30–35 %. Указанные методы взрывания снижают начальное давление в ближней зоне действия взрыва, где образуется основной объем немашинных классов, но не решают в целом основную проблему качественного управления дроблением и зоной регулируемого разрушения.

Высокая энергоемкость процесса взрывного разрушения обусловлена самим механизмом высокоэнергетического разрушения породы под действием в основном сжимающих напряжений. Известно, что предел прочности на растяжение минералов и пород примерно в 10 раз

меньше, чем предел прочности на сжатие и примерно в 5 раз меньше, чем предел прочности на сдвиг. Энергоемкость разрушения упругих твердых тел прямо пропорциональна квадрату предела их прочности. С определенной степенью допущений можно считать, что процесс разрушения рудных минералов растяжением (считая их упруготвердыми телами) в 100 и 25 раз менее энергоемок по сравнению с разрушением сдвигом и сжатием соответственно. Из изложенного следует, что рудные породы предпочтительно разрушать силами растяжения или сдвига. Однако в существующих современных технологических процессах разрушения горных пород (при бурении, взрывании, дроблении и измельчении) это условие реализовать невозможно, так как разрушающая или разупрочняющая сила указанных процессов является сжимающей и прикладывается к поверхности массива (при бурении и взрывной отбойке) или к поверхности куска (при дроблении и измельчении).

Преимущественное использование наименее энергоемких растягивающих или сдвигающих разрушающих сил внутри кусков или отдельностей породы можно реализовать путем направленного размещения внутри природной системы микро- и макротрещин, поровых пространств нановзрывчатых составов, что позволит в перспективе целенаправленно, с меньшими затратами энергии управлять взрывным разрушением, получая горнорудную массу заданного гранулометрического состава и качества и решая при этом основную целевую задачу, которую можно сформулировать как «интенсификация энергетического воздействия на единый сквозной процесс рудоподготовки в технологическом потоке «горнодобывающее предприятие – перерабатывающее произ-

водство». Такое взрывное воздействие, направленное на дезинтеграцию породы (руды) за счет создания повышенной микро- и макротрещиноватости, способствующей ослаблению, раскрытию сростков минералов, будет способствовать повышению производительности и снижению энергоемкости механического дробления и измельчения рудного концентрата, увеличению показателей извлечения металла, а также существенному облегчению доступа выщелачивающих растворов к тонкодисперсным частицам металлов упорных руд в процессах геотехнологии.

С учетом изложенного, актуальными направлениями перспективных научно-исследовательских работ, по мнению авторов статьи, являются: научно-техническое обоснование, углубленные исследования и разработка технологических предложений по нановзрывчатым составам, использованию этих составов и нановзрывных технологий для интенсификаций энергетических воздействий на отбойку и взрывное дробление минерального сырья. ■

Physical and technological background of the intensification of blast effect in the process of ore dressing.

S. K. Rubtsov, N. A. Zinko, V. I. Fil

Based on the analysis of physical and technological background of the Kokpatas deposit development in the Republic of Uzbekistan the research areas have been identified aimed at the intensification of energy effect on the integrated end-to-end process of ore dressing in the "mine - processing plant" production line.



Список литературы

1. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1976.
2. Мосинец В. Н. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М.: Недра, 1982.
3. Куж М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра, 1980.
4. Кочанов А. Н. Использование эффекта взрывного предразрушения горных пород в геотехнологиях // Сб. докладов VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», – М.: Изд. РГГУ им. С. Орджоникидзе, 2007. – Т. 6. – С. 220–223.
5. Рубцов С. К., Пашков А. А., Сытенков Д. В. Повышение эффективности рудоподготовки в системе «карьер – обогатительная фабрика» // Горный журнал. – 1998. – № 8. – С. 52–54.
6. Демидюк Г. П., Викторов С. Д., Фугзан М. М. Влияние взрывного нагружения на эффективность последующих этапов обогащения // Сб. Взрывное дело № 89/46 «Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве». – М.: Недра, 1986. – С. 116–120.
7. Кузнецов А. Г. К вопросу формирования мировых цен на золото // Недропользование-XXI век. – 2007. – № 6. – С. 45–49.
8. Гончаров С. А., Чернигов Н. Ю. Нанотехнологии и нанокристаллические материалы в горной промышленности. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006.
9. Совершенствование процессов открытой разработки сложноструктурных месторождений эндогенного происхождения // Ташкент: Изд-во ФАН АН РУз, 1998.