

Концентрат Михайловского ГОКА	100	65.1	100
Полученный концентрат	28.44	68,1	29.24
Промпродукт	71.56	57.8	70.76

Применение данного метода в сочетании с тонким грохочением или магнитно-гравитационной концентрацией позволяет получать концентраты с качеством, пригодными для использования в бездоменной металлургии не используя флотацию, что повышает экологическую безопасность, значительно сокращает затраты и соответственно повышает эффективность производства.

Список литературы:

1. Железородная база России / под ред. Орлова В.П., Веригина М.И., Голивкина Н.И. –М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. –842 с. –ISBN 5–900357–07–4.
2. Остапенко П. Е. Обогащение железных руд. -М., Недра, 1985.
3. В.В. Кармазин Совершенствование технологии обогащения магнетитовых кварцитов на основе сепараторов с бегущим магнитным полем // Горный журнал. –2006. -№6.
4. В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных. Том I, Москва, Издательство МГГУ. 2005 г.
5. Плаксин И.Н., Кармазин В.И., Олофинский Н.Ф., Норкин В.В., Кармазин В.В. Новые направления глубокого обогащения тонковкрапленных железных руд. -М., Наука, 1964.
6. Кармазин В.В., Пилов П.И. Принципы сепарационного массопереноса в турбулентных потоках пульпы, содержащих полидисперсные и гетерогенную твердую фазу. -М. МГГУ ГИАБ №4, 2001 г.
7. В.М. Авдохин, С.Л. Губин Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд. М. Горный журнал, -№3, 2007 г.
8. Отчеты НТЦ МГГУ о выполнении работ по хоздоговорам с ОАО ЛГОК, ОАО МГОК и ОАО Рудгормаш (темы ОПИ: 101, 104, 111, 228, 239, 248, 363) Москва-Губкин 2004-2007 гг.

УДК 622.272

ФЕДОРЕНКО П.Й., д-р техн., наук. ТИЩЕНКО С.В., д-р техн. наук, ГАПОНЕНКО И.А., аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА ВВ

Эффективная и качественная взрывоподготовка горной массы оказывает прямое влияние на технико-экономические показатели добычи полезного ископаемого открытым способом. Производство взрывных работ на современном этапе характеризуется сложными горно-геологическими условиями ведения буровзрывных работ.

В этих случаях возникает необходимость в разработке технологий взрывных работ, позволяющих получать высокое качество дробления взрывающей горной породы.

Характер процесса взрывного разрушения массива горных пород во многом определяется конструктивными особенностями скважинного заряда ВВ. Используя последние, возможно значительно уменьшить пиковое давление продуктов детонации на границе раздела заряд-порода, увеличить общее время воздействия взрывных нагрузок на разрушаемый массив и тем самым повысить КПД взрыва.

Исследуем процесс разрушения горного массива при наличии в скважинном заряде ВВ [1] воздушного промежутка и отражателя из сыпучих материалов

При исследовании динамического разрушения твердой среды при взрыве вводятся в рассмотрение волны разрушения [2]. Под волной разрушения понимается распространяющаяся в разрушаемой среде поверхность, отделяющая материал среды от разрушенного. Так как разрушение происходит за конечное время, то удобнее рассматривать не поверхность, а слой некоторой толщины.

При взрыве скважинного заряда для продуктов детонации справедлив изоэнтропийный закон расширения, связывающий давление P и плотность ρ .

$$P = a \cdot \rho^n,$$

где n – константа данного ВВ.

При истечении продуктов детонации в какую-либо среду в последней всегда образуется ударная волна, скорость которой согласно работы [1] определяется из выражения:

$$U_{y0} = \frac{D}{n+1} \left(1 + \frac{2n}{n-1} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) \right),$$

где D – скорость детонации ВВ; P_1 – давление во фронте детонационной волны, P_2 – начальное давление во фронте ударной волны, образующейся в среде.

Очевидно, что структура и параметры волны разрушения зависят от импульсной нагрузки, в нашем случае ударной волны и физико-механических свойств разрушаемой среды.

Рассмотрим разрушающее действие скважинного (цилиндрического) заряда ВВ в плоскости, перпендикулярной к оси заряда, то есть рассмотрим плоскую картину течения разрушения. Закон сохранения энергии на фронте волны разрушения имеет вид:

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(\rho_1^{-1} - \rho_2^{-1}),$$

где: ω_1, ω_2 - внутренняя энергия среды на поверхности, на которой начинается разрушение и соответственно на поверхности, где дальнейшее разрушение не происходит;

P_1, P_2 - напряжения, нормальные к поверхностям, где происходит и не происходит разрушение;

ρ_1, ρ_2 - плотность среды соответственно на указанных поверхностях.

Согласно [3], если внутреннюю энергию единицы массы материала обозначить через ω_0 , то для разрушенного материала:

$$\begin{aligned} \omega &= P^2 / 2k\rho_1 + \sum^2 / 2\mu\rho_1 + \omega_0(T_1) \cdot \\ 3P &= \sigma_x + \sigma_x + \sigma_z \\ 6\sum^2 &= (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2, \quad \omega_0(T_1) = C \cdot T_1 \cdot \rho_1^{-1} \\ \omega_0(T_1) &= c \cdot T_1 \cdot \rho_1^{-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

где: k - модуль векторного сжатия; μ - модуль сдвига; c - теплоемкость.

За фронтом волны разрушения для разрушенного материала

$$\omega_2 = \sigma_x^2 (2E\rho_2)^{-1} + \omega_0(T_2) + \omega_s,$$

где: ω_s - поверхностная энергия.

Так как в нашем случае рассматривается задача на плоскости, то с учетом соотношений $\sigma_y = \sigma_s$; $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ получаем уравнение теплового баланса

$$\omega_2 + C(T_2 - T_1) = \sigma_*^2 (2E)^{-1} (1 - \nu(\rho_2 - \rho_1)(1 - \nu)^{-1} \sigma_*) \quad (2)$$

при $\sigma_* = E \cdot \varepsilon_*$, где: ε_* - предельная деформация растяжения.

Согласно уравнения (2. 2) тепловые потери при разрушении равны:

$$\Delta Q = \sigma_*^2 / 2E_1 - \omega_s. \quad (3)$$

С учетом осевой симметрии рассмотрения процесса разрушения окончательно имеем:

$$\Delta Q = (\sigma_*^2 / 2E_1) \left[(1 - \nu^2 - \rho \nu^2 (\varepsilon_* \sigma_*)^{-1}) \right]. \quad (4)$$

Отсюда следует важный вывод, что чем интенсивнее происходит дробление, тем больше тепловые потери. Следовательно, изменяя величину взрывного воздействия на разрушаемую среду, можно влиять на КПД взрыва. Как видно из последнего уравнения, потери энергии на нагревание породы тем больше, чем больше раздроблена среда. Это приводит к быстрому затуханию волны разрушения.

Как уже отмечалось, внутренняя структура волны разрушения состоит из двух поверхностей: L_1 – поверхность, на которой начинается разрушение и L_2 – поверхность, за которой дальнейшее разрушение не происходит. Очевидно, что перед поверхностью L_1 среда подвергается растяжению, а за поверхностью L_2 , растягивающие напряжения полностью сняты.

На образование трещины, очевидно, затрачивается энергия W , включающая в себя энергию разрыва внутренних связей, работу пластической деформации и другие виды энергии. Если длина трещины изменяется на величину dl , то производную $\partial W/dl$ можно рассматривать как обобщенную силу. Обозначив через f удельную поверхностную энергию, получим: $\partial W / \partial l = \partial f$. Тогда согласно исследованиям [2] закон сохранения импульса на поверхностях L_1 и L_2 примет вид:

$$P_2 S_2 - P_1 S_1 = j(\nu_2 - \nu_1) + 2f,$$

где: j - поток вещества; ν_1 и ν_2 ; - массовая скорость на поверхности L_1 и L_2 ; S_1 - сечение фрагмента в не разрушенной среде; S_2 - сечение фрагмента в разрушенном материале.

Закон сохранения потоков вещества с учетом наших обозначений запишется в виде:

$$P_2^l - P_1^l = j^2((\rho_1^l)^{-1} - (\rho_2^l)^{-1}) + 2f, \quad (5)$$

$$P^l = PS; \quad \rho^l = \rho S, \quad (6)$$

где: ρ_1 и ρ_2 - плотность соответственно на каждой из поверхностей; P_1 и P_2 - нормальные напряжения.

Для случая когда $P_1^l = P_2^l$ с учетом формул (5) и (6), получаем:

$$\rho_1 S_1 (\rho_1 S_1 / \rho_2 S_2 - 1) = 2f / (c_r - \nu_1)^2, \quad (7)$$

где: c_r – скорость волны разрушения.

Из предположения, что среда является упругопластической, имеем:

$$S_1 = S_0(1 + \varepsilon_*), \quad S_2 = S_0(1 + \varepsilon'), \quad (8)$$

где: S_0 – размер рассматриваемого фрагмента в не напряженном состоянии;

ε' – остаточная деформация.

Подставляя значения S_1 и S_2 из формул (8) в выражение (7), получим:

$$S_2 = 2f / \rho (c_r - \nu_1)^2 (\varepsilon_* - \varepsilon'), \quad (9)$$

так как $\varepsilon_* - \varepsilon' = \sigma_* / E$, то окончательно формула по определению размера осколка, если известна окончательная скорость C_r волны разрушения, может быть записана в виде:

$$S_2 = 2fE(\rho \sigma_* (c_r - \nu_1)^2)^{-1}. \quad (10)$$

Очевидно, что скорость распространения волны разрушения зависит от геометрии и кинематики движения.

Для случая радиального движения с осевой симметрией скорость фронта разрушения равна:

$$dR / dt = v / 2\varepsilon_*, \quad (11)$$

где: R – радиус фронта разрушения; t – время или

$$dR / dt = c_r - v_1. \quad (12)$$

Тогда с учетом формул (10), (11), (12) получим:

$$S_2 = 8 f E \varepsilon_*^2 (\rho \sigma_* \cdot v^2)^{-1}. \quad (13)$$

Формула (13) дает возможность определить поперечный размер куска разрушенного материала в зависимости от величины массовой скорости V. Если поперечный размер осколка обозначить через $\langle x \rangle$, а величину массовой скорости для цилиндрического заряда принять в виде:

$$v = A (\sqrt{Q} \cdot R_*^{-1})^2, \quad (14)$$

где: Q – вес заряда ВВ, приходящийся на единицу длины;

R* - расстояние от центра заряда;

A, α – эмпирические коэффициенты, то формула (2.13) примет окончательный вид:

$$\langle x \rangle = (8 f E \varepsilon_*^2 A^2 \sigma_*) (R / Q^{1/2})^\alpha. \quad (15)$$

Формула (15) определяет характерный размер осколков в зависимости от веса заряда и расстояния от центра заряда. В общем виде это может быть записано как:

$$\langle x \rangle = X(Q, R). \quad (16)$$

Ранее отмечалось, что формула (14) дает зависимость между тепловыми потерями и интенсивностью дробления, то есть величиной $\langle x \rangle$. Эта зависимость может с большой точностью быть выражена соотношением:

$$\Delta Q = \langle x \rangle^{-2}. \quad (17)$$

Если обозначить через r границу разрушения, а через r₀ радиус цилиндрического заряда, то средний размер куска грансостава взорванной горной массы может быть определен соотношением:

$$\langle x \rangle = B \int_{r_0}^r R dr, \quad (18)$$

где:

$$B = 2\pi^2 S_2 (r_2 - r_0^2)^{-1}. \quad (19)$$

Для области разрушения $r_0 \leq r$ согласно формулы (14) имеем:

$$\langle x \rangle = 8 f E \varepsilon_*^2 / \rho A^2 (\alpha + 1) \sigma_* r^{2\alpha} / Q^\alpha \quad (20)$$

Если ввести замену $V = \pi r^2$, то окончательно получим:

$$\langle x \rangle = K (E \varepsilon_*^2 / \sigma_*) (V / Q)^\alpha, \quad (21)$$

где: K – числовой коэффициент, зависящий от свойств разрушаемой среды.

Анализируя формулы (14) и (16), следует отметить, что наличие в скважинном заряде ВВ [1] воздушного промежутка и отражателя из сыпучих материалов позволит снизить тепловые потери и интенсивностью дробления в ближней зоне от заряда и повысить тем самым эффективность использования энергии взрыва.

При условии $\sigma_* = E\varepsilon_*$ - хрупкое разрушение, формула (21) примет вид:

$$\langle x \rangle = K(\sigma_* / E)(V / Q)^\alpha. \quad (22)$$

теоретически оптимальный случай для процесса взрывного разрушения, если $\Delta Q = 0$, тогда согласно [3; 4]:

$$\langle x \rangle_{opt} = \sigma_*^2 / 2Ef. \quad (23)$$

Выражение (22) нужно рассматривать как теоретический предел эффективности использования энергии взрыва, к которому необходимо стремиться в реальных условиях при проведении взрывных работ.

Список литературы:

1. Пат.№35423 Украина МПК F42D 1/00 F42D 3/00.Свердловинний заряд/ Гапоненко А.Л. и др.
2. Кузнецов В.М. О плоской волне разрушения. –ФГВ, 1974. -№1, –С. 124-127.
3. Механический эффект подземного взрыва / Родионов.В.Н., Адушкин В.В. и др./ Под. ред. М.А.Садовского. - М.: Недра, 1971. - 220 с.
4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. –М.: Наука, 1974. –640с.

УДК 622.271.33

В.Г.БЛИЗНЮКОВ, доктор технических наук, профессор, С.А.ЛУЦЕНКО кандидат технических наук, доцент, И.В.БАРАНОВ кандидат технических наук, доцент, О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, аспирант.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА

На примере Анновского карьера Публичное акционерное общество «СЕВГОК» показана целесообразность комплексной оценки вариантов режима горных работ и производительности карьера по руде по предложенному технологическому критерию: по разнице между объемами производства железорудного концентрата и извлекаемой горной массы за рассматриваемый период. Исследования подтвердили стопроцентную