

УДК 622.23.05

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНЫХ РАЗМЕРОВ РУДЫ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДРОБЛЕНИЯ В АППАРАТЕ КОМБИНИРОВАННОГО УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДКД-300

Львов Е.С., Винокуров В.Р.*ФБУ Российской Академии наук Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения РАН, Якутск, e-mail: lvores@bk.ru*

На обогатительных фабриках, где в процессах рудоподготовки применяется операция дробления, нужно учитывать количество (выход) необходимой крупности или заданной степени раскрытия минералов, для успешной работы последующих обогатительных процессов. Для этой цели, помимо важнейших характеристик горных пород, влияющих на процесс разрушения, таких как прочность, дробимость, измельчаемость, абразивность, необходимо учитывать и исходный размер дробимого материала. Так как рудный материал, поступающий на стадию рудоподготовки, как правило, состоит из кусков различной крупности, вследствие чего разрушаться они будут по-разному. Тем более, в дробилках ударного действия, где заложен принцип разрушения свободным ударом, энергия удара напрямую зависит от исходной крупности материала. В результате проведенных исследований по определению влияния исходных размеров кускового материала на характер разрушения в процессе дробления ударной дробилки ДКД-300 с использованием предварительного окрашивания исследуемых образцов руды по классам крупности, выявлена следующая закономерность: при дроблении куски руды меньших размеров имеют больший выход крупных фракций продукта дробления и, напротив, с увеличением их исходных размеров наблюдается увеличение выхода мелких фракций. Этим результатом количественно и качественно подтверждается ранее предполагаемая гипотеза об интенсивности разрушения более крупных частиц в процессе разрушения при использовании ударного способа дробления, а также установлена взаимосвязь конечного гранулометрического состава дробленого материала с исходной крупностью.

Ключевые слова: дробление, дробилка, конструкция, обогащение, распределение, гранулометрическая характеристика, рудоподготовка, крупность

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF INITIAL SIZED ORE ON CHARACTER OF FRACTURE DURING CRUSHING IN THE MACHINE COMBINED IMPACT OF DCD-300

Lvov E.S., Vinokurov V.R.*IGDS name of N.V. Chersky SB RAS, Yakutsk, e-mail: lvores@bk.ru*

At the processing plant, where ore dressing processes used crushing operation, it is necessary to take into account the number (output) size required or desired degree of minerals disclosure to the success of subsequent enrichment processes. For this purpose, in addition to the most important characteristics affecting the rock breaking process, such as strength, crushability, grindability, abrasiveness, and should take into account the initial size of crushed material. Since the ore material fed to the ore preparation stage usually consists of pieces of different sizes, whereby they will break down in different ways. Especially in the Impact crushers, where the principle of the destruction of the free kick, the impact energy depends on the size of the original material. As a result of studies to determine the effect of the initial size of the particulate material on the nature of the damage in the process of crushing impact crusher DCD-300 with pre-staining studied ore samples by size classes, the following pattern emerged: during the fragmentation of pieces of ore smaller sizes have a higher yield of the major factions of crushing of the product and, conversely, increasing their initial size, an increase yield of fines. This result quantitatively and qualitatively confirmed the previously estimated hypothesis of destruction of the intensity of the larger particles in the process of destruction by using impact crushing, as well as the interrelation of the final particle size distribution of the crushed material to the original.

Keywords: crushing, crusher, construction, enrichment, distribution, grading characteristics, ore preparation, particle size

Проведя анализ мирового опыта в области переработки руд, установлено, что наиболее затратным переделом на обогатительных фабриках является рудоподготовка (на ее долю приходится до 80 % эксплуатационных затрат). Высокая энергоемкость (потребление до 20 % всей вырабатываемой энергии) и стоимость основных операций рудоподготовки – дробления и измельчения, усложнение вещественного состава руд вызывает необходимость

интенсификации подготовительных процессов и четкого подхода в организации оптимальной крупности питания в технологических операциях [3, 4].

При этом развитие технологий рудоподготовительного передела связано с упрощением операций дробления – измельчения в технологических схемах. Основные направления этих изменений – уменьшение числа операций за счет использования аппаратов с высокой степенью сокращения

крупности при повышенной единичной производительности, применение в аппаратах эффекта разрушения руды кусками той же руды. Этим требованиям удовлетворяют аппараты дробления, использующие ударный принцип дробления [1, 2].

На обогатительных фабриках, где в процессах рудоподготовки применяется операция дробления, нужно учитывать количество (выход) необходимой крупности или заданной степени раскрытия минералов, для успешной работы последующих обогатительных процессов. Для этой цели, помимо важнейших характеристик горных пород, влияющих на процесс разрушения, таких как прочность, дробимость, измельчаемость, абразивность, необходимо учитывать и исходный размер дробимого материала. Так как рудный материал, поступающий на стадию рудоподготовки, как правило, состоит из кусков различной крупности, вследствие чего разрушаться они будут по-разному. Тем более, в дробилках ударного действия, где заложен принцип разрушения свободным ударом, энергия удара напрямую зависит от исходной крупности материала.

Для более подробного изучения рассмотрим процессы дробления отдельных классов крупности многократными динамическими воздействиями за счет контактов, как с рабочей поверхностью роторов, так и кусков друг с другом в режиме самоизмельчения, реализованном в шестироторной дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300 разработки ИГДС СО РАН [5, 6]. В основу работы дробилки заложен принцип разрушения кусковых геоматериалов многократным свободным ударом, обеспечивающий дополнительное разрушение кусков самоизмельчением пересекающимися траекториями их перемещения в рабочей зоне дробления. Кинематическая схема дробилки представлена на рис. 1.

Дробилка состоит из корпуса 1, имеющего делитель исходного материала 2, располагаемого ниже питающего патрубка 3, пары роторов первичного 4, дополнительного (нижнего) 5 и вторичного 6 дробления, разгрузочного патрубка 7. Центры вращения пар роторов (первичного и вторичного дробления) располагаются симметрично по линии окружности, образованной одним радиусом от центра корпуса. Таким образом, геометрический центр корпуса совпадает с центром вероятной зоны ударного столкновения горных пород, вылетающих при ударе рабочей поверхностью всех роторов. Корпус дробилки 1 обеспечивает симметричную двух-

поточную подачу исходного материала по наклонным боковым внутренним стенкам на роторы первичного дробления 4, которые сообщают кускам ударный импульс. Под действием этого куски породы соударяются в рабочем пространстве дробилки под углом более 90 градусов. Далее породы с разрушенной структурой отбрасываются по направлению результирующего вектора скорости к ударной поверхности встречно вращающихся верхних роторов 6 вторичного дробления, где происходит следующая фаза дезинтеграции кусков. Затем разрушенные частицы отбрасываются к нижним роторам дополнительного дробления 5, сталкиваются с частицами, которые не смогли разгрузиться через зазоры между лопастями вращающихся роторов первичного и дополнительного дробления. После очередного цикла столкновения материал в последующем разгружается через разгрузочный патрубок 7, просыпаясь между роторами.

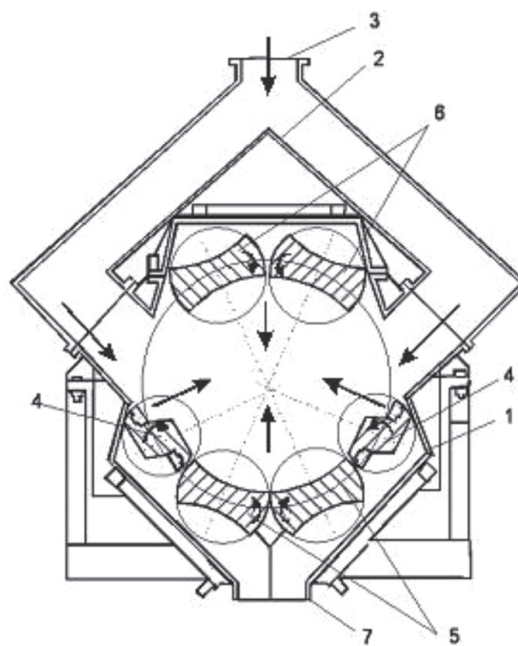


Рис. 1. Кинематическая схема дробилки ДКД-300: 1 – корпус дробилки; 2 – делитель исходного материала; 3 – питающий патрубок; 4 – роторы первичного дробления; 5 – роторы дополнительного дробления; 6 – роторы вторичного дробления; 7 – разгрузочный патрубок

При дезинтеграции горных пород применение ударного способа дробления, осуществляемого в аппарате ДКД-300, может служить различным целям. Для получения строительных материалов, например щеб-

ня, где исходный материал рассматривается как однородный (известняк), основной задачей ставится уменьшение исходного куска в необходимое число раз. В области обогащения и переработки руд дезинтеграция имеет совершенно другую задачу: освободить ценный компонент от пустой породы и раскрыть его.

Исследования по дроблению проводились на черносланцевой золотосодержащей руде месторождения «Дуэтское» и известняке. В начале экспериментальных работ исходный материал предварительно сортировался по классам крупности: – 100 + 40 мм; – 40 + 20 мм; – 20 + 10 мм; – 10 +

+ 5 мм, которые для идентификации после дробления, окрашивались в различные цвета (рис. 2. а). После окрашивания подготавливались пробы путем смешивания окрашенных классов крупности с одинаковой величиной по массе.

Далее смесь материалов разной крупности (рис. 2, б) подвергалась дроблению в дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300. Материал, прошедший дробление, подвергался расситовке по классам крупности. Далее каждый класс анализировался и идентифицировался по цветовому признаку, к какому классу крупности он относился, до дробления.

Таблица 1

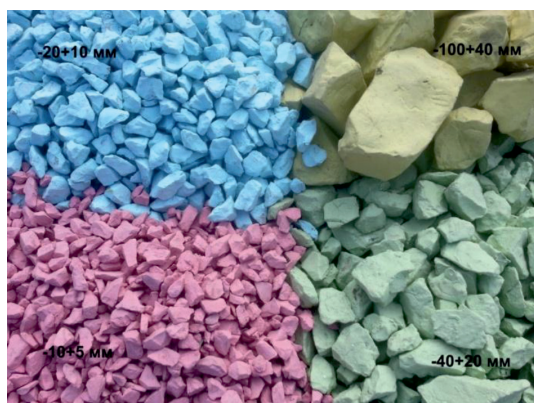
Распределение продуктов дробления черносланцевой руды по классам крупности в %

Класс крупности, мм	Выход, %				Итого
	– 100 + 40	– 40 + 20	– 20 + 10	– 10 + 5	
– 40 + 20	54,02	45,98			100
– 20 + 10	28,26	32,30	39,43		100
– 10 + 5	16,19	16,73	25,52	41,57	100
– 5	21,56	22,84	23,25	32,34	100

Таблица 2

Распределение продуктов дробления известняка по классам крупности в %

Класс крупности, мм	Выход, %				Итого
	– 100 + 40	– 40 + 20	– 20 + 10	– 10 + 5	
– 40 + 20	47,56	52,44			100
– 20 + 10	12,19	34,81	53,00		100
– 10 + 5	15,37	18,67	31,34	34,61	100
– 5	40,58	24,17	11,86	23,39	100



а)



б)

Рис. 2. Подготовка проб к исследованию: а – окрашивание по классам крупности; б – общий вид после смешивания

Анализируя распределение продуктов дробления черносланцевой руды по классам крупности, представленного в табл. 1 видно, что максимальное количество в продуктах дробления крупностью – 40 + 20 мм приходится на исходный класс крупности – 100 + 40 мм и составляет 54,02 %. Максимальное количество в продуктах дробления крупностью – 20 + 10 мм приходится на исходный класс крупности – 20 + 10 мм и составляет 39,43 %. Наибольший выход про-

дуктов дробления крупностью – 10 + 5 мм приходится на исходный класс крупностью – 10 + 5 мм и составляет 41,57 % от общего количества дробленого продукта этого класса. Анализируя продукты дробления крупностью – 5 мм, выявлено примерно равное количество исходных классов – 100 + 40 мм, – 40 + 20 и – 20 + 10 мм, которые составляют 21,56 %, 22,84 % и 23,25 % общего количества дробленого продукта класса – 5 мм.

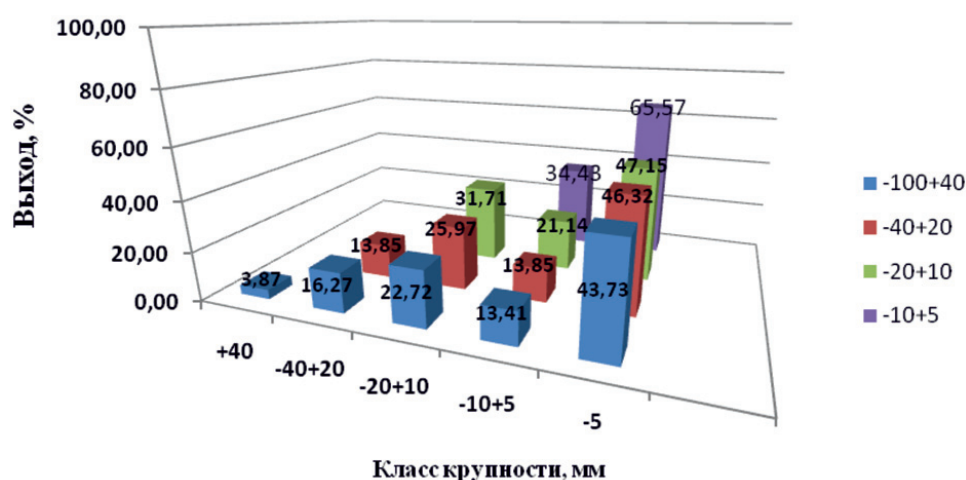


Рис. 3. Гранулометрический состав продуктов дробления черносланцевой руды на дробилке ударного действия ДКД-300

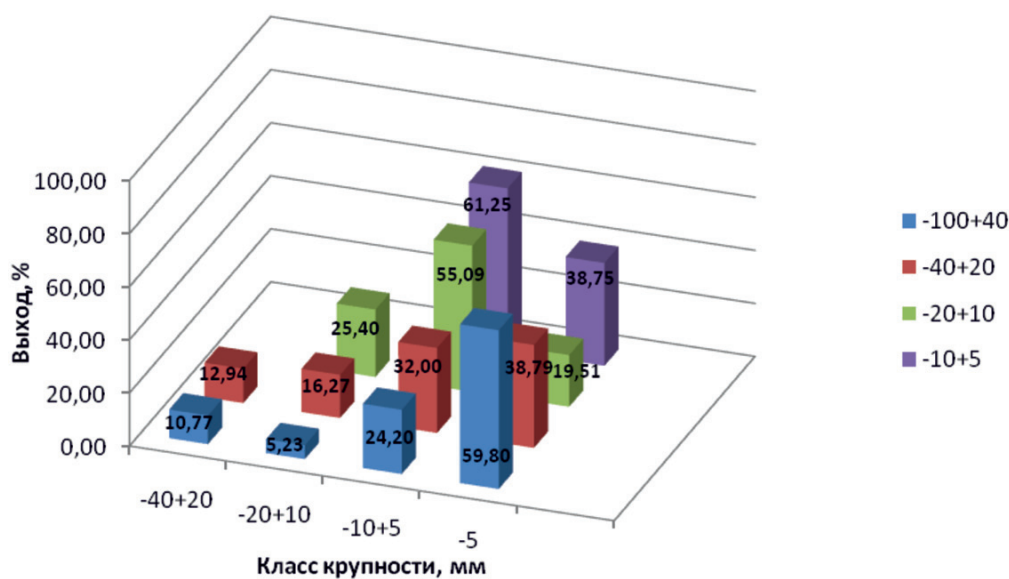


Рис. 4. Гранулометрический состав продуктов дробления известняка на дробилке ударного действия ДКД-300

Анализируя распределение продуктов дробления известняка по классам крупности, представленного в табл. 2, видно, что максимальное количество в продуктах дробления крупностью – 40 + 20 мм приходится на исходный класс крупности – 40 + 20 мм и составляет 52,44 %. Максимальное количество в продуктах дробления крупностью – 20 + 10 мм приходится на исходный класс крупности – 20 + 10 и составляет 53,00 %.

Наибольший выход продуктов дробления крупностью – 10 + 5 мм приходится на исходный класс крупностью – 10 + 5 мм и составляет 34,61 % от общего количества дробленого продукта этого класса. Анализируя продукты дробления крупностью – 5 мм при дроблении известняка в дробилке ДКД-300 в отличие от дробления черносланцевой руды, максимальный выход от общего количества дробленого продукта класса – 5 мм приходится на исходный класс крупности – 100 + 40 мм и составляет 40,58 %.

Анализируя процесс разрушения неоднородных материалов ударным способом, следует отметить, что в момент удара в нем возникает сложное поле напряжений и деформаций, где разрушение происходит по межминеральным связям, что способствует селективной дезинтеграции. Это подтверждает проведенный гранулометрический анализ продуктов дробления черносланцевой руды, по которому видно, что по всем исходным классам крупности наибольший выход подробленной руды приходится на класс крупности – 5 мм (рис. 3). Так, выход продуктов дробления классом крупности – 5 мм: для исходной крупности – 100 + 40 мм составляет 43,73 %; для исходной крупности – 40 + 20 мм составляет 46,32 %; для исходной крупности – 20 + 10 мм составляет 47,15 %. И максимальное значение достигается в классе крупности – 10 + 5 мм и составляет 65,57 %. Однако в этом же классе крупности наблюдается максимальный выход неподробленной руды и составляет 34,43 %.

Анализ продуктов дробления известняка показал, что при дроблении классов крупностью – 100 + 40 мм и – 40 + 20 мм наибольший выход приходится на класс – 5 мм и составляет 59, 80 % и 38, 79 % соответственно (рис. 4). А при дроблении классов крупностью – 20 + 10 мм и – 10 + 5 мм наибольший выход приходится на класс – 10 + 5 мм и составляет 55,09 % и 61, 25 % соответственно. Это показывает, что 61,25 % исходной руды крупностью – 10 + 5 мм не получает достаточных удар-

ных импульсов для разрушения в процессе ударного дробления.

При этом в ударной дробилке разрушение достигается не только за счет энергии ударного импульса, получаемой от роторов, но и благодаря высокой концентрации энергии в зоне соударения разрушаемых частиц. За счет этого при дроблении более крупных классов крупности происходит множественное разрушение и накопление трещин, вследствие чего они подвержены более тщательному дроблению, нежели мелкие классы крупности.

Проведенные исследования и анализ ранее проведенных работ по селективному разрушению горных пород показали, что нагрузки на материал должны быть импульсными, многоциклическими и разносторонними, также можно предположить, что поверхностные слои разрушаемых кусков при ударном импульсном нагружении разрушаются микросколами, а полное (фатальное) разрушение куска по дефектным местам произойдет после нескольких силовых воздействий. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что процесс разрушения куска горных пород ударным дроблением в основном образуется из двух самостоятельных процессов:

- последовательное импульсное разрушение куска на несколько более мелких;
- разрушение кусков с поверхности послойно вследствие многократности и разносторонности воздействий с образованием мелких фракций.

В результате исследований выявлена следующая закономерность: при дроблении куски руды меньших размеров имеют больший выход крупных фракций продукта дробления и, напротив, с увеличением их исходных размеров наблюдается увеличение выхода мелких фракций. Этим результатом количественно и качественно подтверждается ранее предполагаемая гипотеза об интенсивности разрушения более крупных частиц при ударном дроблении, а также установлена взаимосвязь конечного гранулометрического состава дробленого материала с исходным.

Список литературы

1. Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. Учебник для вузов. – СПб.: СПбГИ, 2007. – 439 с.
2. Баранов В.Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик // Обогащение руд. – СПб., 2008. – № 1/2008. – С. 3–12.
3. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 306 с.

4. Газалеева Г.И. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение / Г.И. Газалеева, Е.Ф. Цыпин, С.А. Червяков. – Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. – 914 с.

5. Львов Е.С., Матвеев А.И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300 // Горн. информ. – аналит. бюл. – 2014. – № 10. – С. 112–116.

6. Патент № 2111055 РФ. Дробилка комбинированного ударного действия // Матвеев А.И., Винокуров В.П., Григорьев А.Н., Монастырев А.М. // Опул. в БИ. – 1998. – № 14.

References

1. Andreev E.E., Tihonov O.N. Drobienie, izmelchenie i podgotovka syrja k obogashheniju. Uchebnik dlja vuzov. SPb.: SPbGGI, 2007. 439 p.

2. Baranov V.F. Obzor mirovyh dostizhenij i proektov rudopodgotovki novejsih zarubezhnyh fabrik // Obogashhenie rud. SPb., 2008. no. 1/2008. pp. 3–12.

3. Vajsberg L.A., Zarogatskij L.P., Turkin V.Ja. Vibracionnye dробилки. Osnovy rascheta, proektirovanija i tehnologicheskogo primenenija. SPb.: VSEGEI, 2004. 306 p.

4. Gazaleeva G.I. Rudopodgotovka. Drobienie, grohochenie, obogashhenie / G.I. Gazaleeva, E.F. Cypin, S.A. Chervjakov. Ekaterinburg: ООО «УЦАО», 2014. 914 p.

5. Lvov E.S., Matveev A.I. Izuchenie formirovanija granulometricheskogo sostava i raskrytija mineralov pri droblenii rud s ispolzovaniem dробилки mnogokratnogo dinamicheskogo dejstvija DKD-300 // Gorn. inform. analit. bjul. 2014. no. 10. pp. 112–116.

6. Patent no. 2111055 RF. Dробилка kombinirovannogo udarnogo dejstvija // Matveev A.I., Vinokurov V.P., Grigoriev A.N., Monastyrev A.M. // Opubl. v BI. 1998. no. 14.