

Л.А.ВАЙСБЕРГ, Л.П. ЗАРОГАТСКИЙ, А.Н.САФРОНОВ
«Механобр-Техника», Санкт-Петербург, Россия

ВИБРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Самыми распространенными и энергозатратными технологическими процессами в промышленности и в сельском хозяйстве являются дробление и измельчение. Известно, что они поглощают около 20 % вырабатываемой на планете электроэнергии. Такие большие затраты электроэнергии связаны с тем, что в современных дробильно-измельчительных машинах применяются процессы разрушения, освоенные еще в древние времена: сжатие, удар, истирание, резание. Материал при этом разрушается беспорядочно, почти без использования микротрещин и других дефектов его структуры, что обуславливает крайне низкий коэффициент полезного действия дробильно-измельчительных агрегатов. Кроме того, использование перечисленных воздействий на материал приводит к безвозвратным потерям полезных компонентов или к существенному ухудшению свойств производимых из них продуктов из-за неполного раскрытия полезного компонента или, наоборот, переизмельчения, окатывания или повреждения частиц.

В мировой практике для переработки полезных ископаемых – при обогащении руд, производстве щебня и других подобных технологиях – почти повсеместно используются щеко-

вые и конусные дробилки, принцип действия которых не претерпел принципиальных изменений за последние 150 лет. По-прежнему эти машины имеют приводной элемент в виде эксцентрикового вала, который создает жесткую кинематическую связь между взаимодействующими дробящими телами: конусами или щеками.

Слой материала при таком приводе не может быть деформирован на величину, превышающую установленный между дробящими телами разгрузочный зазор. Особенно ярко это проявляется в конусных эксцентриковых дробилках, где в приводном эксцентриковом узле используются подшипники скольжения, имеющие значительные радиальные зазоры, которые компенсируют неточности изготовления основных деталей машины. При круговых маятниковых качаниях под действием эксцентрикового привода внутренний дробящий конус развивает центробежную силу, которая прижимает вал конуса к одной стороне эксцентрика и выбирает радиальные зазоры в подшипниках. В таком режиме холостого хода устанавливается разгрузочная щель. На холостом ходу удается учесть все обстоятельства, препятствующие установке идеальной для технологических показателей щели: неизбежная эллиптичность и неконцентричность броней конусов, зазоры в узлах регулировки щели, волчкование конуса на сферической опоре, износ вала и эксцентрика и т.п.

Например, в конусных дробилках с диаметром конуса в основании 2200 мм установленный на холостом ходу зазор равен 5 мм, а в рабочем режиме, когда вал конуса отжимается к противоположной стороне эксцентрика, его значение возрастает до 9,5 мм. С учетом реального значения коэффициента закругления (2-3) 85 % продукта дробилки будет в лучшем случае иметь крупность 16-0 мм или 100 % крупность 20-0 мм. Таким образом, наличие эксцентрикового привода является главной причиной низкой степени дробления (4-7) в таких машинах.*

Другая существенная причина низкой степени дробления эксцентриковых дробилок – ограниченная частота качаний конуса. С увеличением частоты воздействия конуса на дробимый материал снижается крупность продукта и коэффициент закругления, однако при этом пропорционально квадрату частоты качаний возрастает центробежная сила подвижного конуса, а следовательно, и степень неуравновешенности дробилки, так как действующая на фундамент горизонтальная сила достигает в среднем 5 т. При этом на холостом ходу эксцентрик и подвижный конус на своем подпятнике работают крайне ненадежно. Если применяемые в настоящее время упругие амортизаторы защищают фундамент дробилки от разрушения, то опасность заклинивания вала подвижного конуса в эксцентрике на холостом ходу на повышенной частоте качаний сохраняется.

Не менее важной причиной ограничения технологических параметров эксцентриковых дробилок является их высокая чувствительность к неравномерности загрузки исходным материалом как по массе, так и по гранулометрическому составу. Поэтому важно также обеспечить условия для равномерного распределения исходного материала по окружности дробящей полости, что в дробилках типа «Гидрокон» сделать невозможно.

В условиях сегрегированного питания дробилка работает неравномерно с пиковыми напряжениями в деталях и узлах привода, а износ броней носит волнообразный характер, в местные выработки которых проваливаются крупные куски материала. Для компенсации этого явления на ряде комбинатов осуществляют периодическую механическую обработку броней (один-два раза за срок их службы), удорожающую эксплуатацию дробилок.

Следующим ограничительным фактором интенсификации работы эксцентриковых дробилок является опасность повреждения их механизма в связи с переполнением дробящей полости перерабатываемым материалом высокой крепости. Пуск и остановка дробилок с полной полостью невозможны.

При существующей частоте качаний подвижного конуса (242 мин⁻¹) кусок руды зажимается в дробящей полости при условии полного ее заполнения 7 раз, однако, чем ниже производительность, тем с большей скоростью кусок проходит дробящую полость, подвергаясь в ней

* Под степенью дробления здесь, как это общепринято, понимается отношение средневзвешенных размеров кусков в питании и в продукте дробления.

иногда всего двум-трем обжатиам. Такой режим приводит не только к уменьшению степени дробления, но и к резкому снижению ресурса дробилки из-за вибраций вала конуса в эксцентрик при одновременном пробое слоя масла на поверхности трения и выходе машины на режим работы с полусухим трением.

Таким образом, к основным факторам, ограничивающим технологические параметры конусных эксцентриковых дробилок, следует отнести:

- эллиптичность и неконцентричность броне конусов;
- повышенные радиальные зазоры в приводном эксцентриковом механизме;
- чувствительность к неравномерности загрузки исходным материалом;
- ограниченную частоту качаний подвижного конуса;
- опасность для механизма попадания в дробящую полость недробимых тел и потребность в предохранительных средствах;
- невозможность пуска и остановки дробилок под нагрузкой.

На основе фундаментальных исследований в области физики твердого тела и теории колебаний созданы вибрационные щековые и конусные дробилки, которые свободны от недостатков традиционных эксцентриковых дробилок и при этом позволяют достигнуть целого ряда технологических преимуществ, главное из которых – возможность регулировки степени дробления от 5 до 30, и тем самым заменять мельницы, а при использовании для производства щебня повышать его кубовидность в пределах 85-92 % и снижать переизмельчение по классу крупности 5-0 мм до уровня 20-28 % вместо 40 %, как в традиционных дробилках [2].

Традиционно щековая дробилка (рис.1) имеет степень дробления около 4, и ей присущи упомянутые выше недостатки, а виброщековая дробилка (рис.2) имеет изменяемую степень дробления в пределах 15 (по средневзвешенной крупности), и она свободна от недостатков традиционных машин.

При противофазовом и синхронном вращении вибраторов возникают центробежные силы, заставляющие подвешенные на пружинных торсионах щеки совершать маятниковые воз-

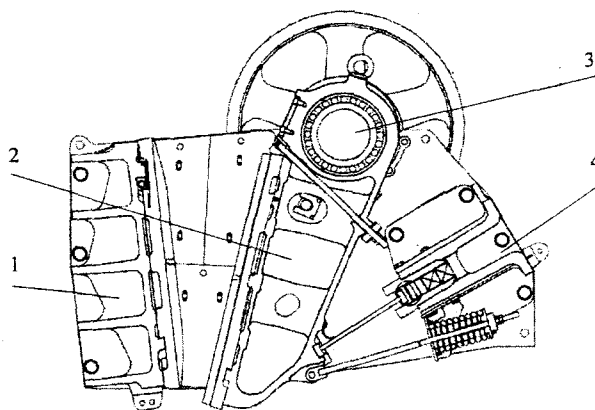


Рис.1. Конструктивная схема щековой дробилки
1 – корпус; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентриковый привод; 4 – механизм обеспечения траектории щеки и предохранения дробилки

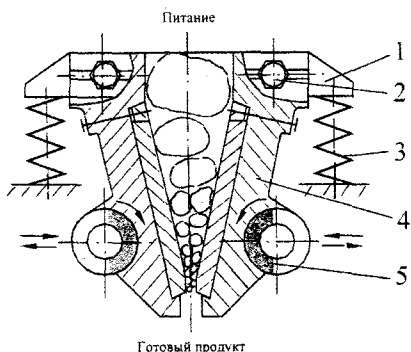


Рис.2. Конструктивная схема виброщековой дробилки
1 – корпус; 2 – торсион; 3 – амортизатор; 4 – подвижная щека; 5 – приводной дебалансный вибратор (стрелками показаны направления вращения вибраторов и качаний щеки)

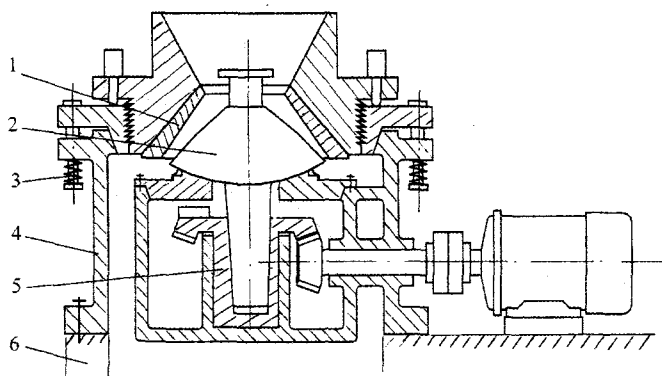


Рис.3. Конструктивная схема эксцентриковой дробилки
1 – наружный конус; 2 – внутренний конус; 3 – предохранительные пружины; 4 – корпус; 5 – приводной эксцентрик; 6 – фундамент

вратно-поступательные движения. При встречном движении щек идет процесс дробления, при расхождении щек – разгрузка продукта. Регулируя силу вибраторов, можно подбирать требуемую степень дробления. Для исключения динамических нагрузок на опору дробилка снабжена упругими амортизаторами. Характеристика виброщечковых дробилок приведена в таблице.

Техническая характеристика дробилок

Параметр	Конусные инерционные дробилки					Вибрационные щечковые дробилки			
	КИД-600	КИД-900	КИД-1200	КИД-1750	КИД-2200	440x800	440x1200	600x1200	1200x1500
Диаметр основания дробящего конуса, мм	600	900	1200	1750	2200	-	-	-	-
Размер приемного отверстия, мм	-	-	-	-	-	440x800	440x1200	600x1200	1200x1500
Максимальная крупность исходного куска (зависит от формы камеры дробления), мм*	60/100	70/130	100/160	120	130	350	350	500	900
Производительность, т/ч*	15/36	50/100	100/200	170	300	30	50	100	300
Выход товарной фракции 5-20 мм, %, в пределах	65	65	65	65	65	60	60	55	40
Выход продукта 0-5 мм, %, не более	30	30	30	25	25	10	10	10	10
Мощность двигателя, кВт	75	160	200	400	630	30x2	45x2	45x2	55x2
Габаритные размеры (для стандартной камеры дробления), мм:									
Длина	2500	3200	3800	6000	6000	2600	4000	4000	4000
Ширина	1500	2000	2500	3500	4000	2100	3150	3250	3500
Высота	2350	2300	3500	4500	6000	2000	2500	3100	4000
Масса, т	8	20	30	100	180	15	20	30	54

* Данные, приведенные в виде дроби, относятся к разным камерам дробления: в числителе – половолоконная дробилка, в знаменателе – крутоконусная.

Примечание. При подаче воды в дробящую полость КИД производительность повышается в 3 раза.

Другим направлением вибрационного оборудования являются традиционные эксцентровые дробилки (рис.3) и конусные инерционные дробилки (КИД).**

Дробилки КИД (рис.4) используются в настоящее время на большинстве щебеночных и асфальтобетонных заводов Японии и ряде подобных производств в России. Технические характеристики дробилок КИД приведены в таблице.

Конусная инерционная дробилка работает следующим образом. При вращении вибратора генерируется центробежная сила, заставляющая внутренний конус совершать гирационное движение на сферической опоре, который также приобретает свою центробежную силу, зависящую от его амплитуды. Последняя определяется степенью деформации слоя материала и центробежной силы вибратора.

В свою очередь, сила сопротивления слоя зависит от степени его уплотнения. Таким образом, меняя размер дробящей силы, можно обеспечить такую степень уплотнения слоя, при которой частицы материала, подвергаясь всесторонней нагрузке, будут разрушаться преимущественно по слабым межкристаллическим зонам без нарушения целостности самих кристаллических блоков, что приводит к существенному снижению удельных энергозатрат [5].

Как показали испытания дробилок КИД всех размеров на различных режимах и материалах при переменных значениях статического момента вибратора, его оборотах, разгрузочных щелях при сухих и мокрых процессах, их преимущества в сравнении с эксцентровыми конусными дробилками состоят в следующем:

** КИД – запатентованная торговая марка конусной инерционной дробилки АО «Механобр-Техника».

- степень дробления в зависимости от размера дробилки регулируется в открытом цикле до 30 (против 4-5 в эксцентриковых конусных дробилках);

- при росте разгрузочной щели в процессе износа броней крупность продукта почти не меняется благодаря росту дробящей силы конуса за счет возрастания его амплитуды; это относится как к сухому, так и к мокрому режимам;

- можно добиваться минимума переизмельчения по заданному классу крупности или, наоборот, получать весьма тонкий продукт, близкий к продукту шаровых мельниц;

- частицы в продукте имеют преимущественно оскольчатую форму, что позволяет эффективно вести обогащение, в отличие от окалистых частиц, полученных в шаровых мельницах;

- пуск и остановка дробилки осуществляется под нагрузкой, при этом упрощается автоматизация;

- КИД не требует дозирующих питателей и загружается материалом самотеком непосредственно из бункера;

- попадание недробимых тел не вызывает поломок механизма дробилки, поэтому КИД не требует предохранительных устройств.

Все эти преимущества и особенности позволили применять их для дробления и измельчения материалов практически любой прочности, вплоть до твердых сплавов.

Опыт промышленной эксплуатации конусных инерционных дробилок показал возможность существенного упрощения процесса рудоподготовки вплоть до замены ими шаровых мельниц [4].

Из графиков гранулометрических составов продуктов инерционных дробилок различного размера (рис.5) видно, что одна и та же машина может работать как дробилка, производя щебень, как мельница, выдавая преимущественно порошок, или одновременно выполнять обе функции. В пределах заштрихованной зоны между кривыми можно, регулируя силу, получить любую кривую гранулометрического состава продукта. Изучая график гранулометрического состава продукта КИД-2200, можно видеть, что минимальная крупность ее продукта в открытом цикле близка к крупности продукта стержневой мельницы даже при переработке весьма прочных материалов с крепостью по шкале Протодяконова до 20. Однако на большинстве фабрик используют только шаровые мельницы, питая их продуктом эксцентриковых дробилок мелкого дробления, который на прочных рудах имеет крупность мельче 25 мм при средневзвешенном в лучшем случае 10 мм. Дробилка КИД-2200 на такой же руде имеет средневзвешенную частицу в продукте 2,5 мм. Используя формулу повышения производительности шаровых мельниц при уменьшении крупности их питания, можно видеть, что это повышение составит 41 %:

$$\Delta = \sqrt[4]{10 / 2,5} = 1,41 (1,41 \%).$$

Таким образом, применяя КИД-2200 вместо эксцентриковых дробилок мелкого дробления КМДТ-2200, можно снизить энергозатраты мельничного отделения примерно на 40 %.

При работе КИД-2200 с подачей воды в дробящую полость можно повысить ее производительность почти до 1000 т/ч при сохранении крупности продукта, характерного для сухого режима. Однако если уменьшить разгрузочную щель между дробящими конусами до получения производительности сухого режима (до 350 т/ч), то можно получить продукт мельче 4 мм с

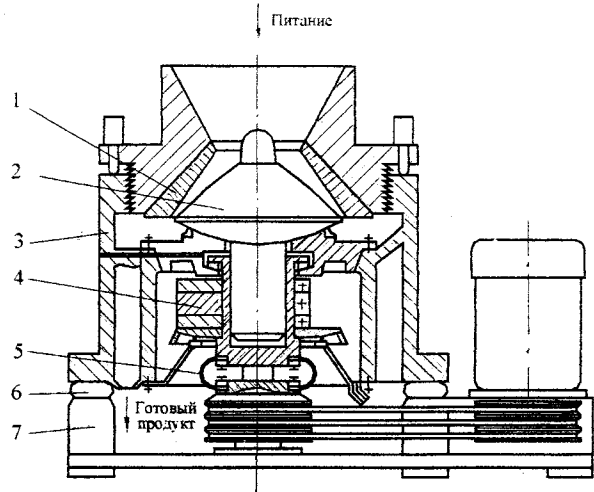


Рис.4. Упрощенная схема конусной инерционной дробилки

- 1 — наружный конус; 2 — внутренний конус; 3 — корпус;
- 4 — приводной дебалансный вибровозбудитель;
- 5 — эластичная муфта; 6 — резиновые амортизаторы;
- 7 — металлическая опора

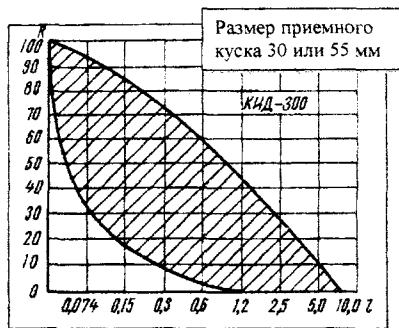


Рис.5. Гранулометрический состав продукта дробилок КИД различных размеров применительно к минералу с прочностью 18-20 по шкале Протодьяконова
Размер приемного куска зависит от формы дробящей полости и не влияет на крупность продукта

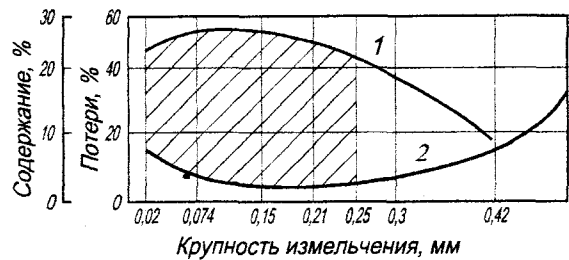


Рис.6. Зависимость содержания полезного компонента в продукте (1) и потерь его в хвосты (2) от крупности измельчения (при агрегатном включении тонких частиц извлекаемого компонента во вмещающей породе)

содержанием класса 0-0,250 около 60 %. Из графика на рис.6 видно, что этот класс крупности в большинстве случаев при тонковкрапленной руде пригоден для флотации. Заштрихованная часть графика отражает оптимальный гранулометрический состав продукта измельчения для флотации. Следует отметить, что содержание почти нефлотируемого класса 0-0,02 в таком продукте дробилки в 3 раза меньше, чем в шаровой мельнице, а труднофлотируемых окатанных частиц в продукте почти нет. Таким образом, сочетание селективности раскрытия руды с качеством упомянутого продукта позволяет поднять извлечение металлов в среднем на 15 %. Работа дробилки КИД-2200 в мокром режиме в замкнутом цикле с гидроциклоном позволяет отказаться от шаровых мельниц, что обеспечит снижение энергозатрат на рудоподготовку минимум на 50 % при 10-кратном снижении расхода мелющих тел. Если имеется возможность увеличить добычу руды, то, расширяя фронт флотации за счет освобождения мельничных отделений, можно существенно повысить производительность фабрики при минимальных капитальных затратах. Дополнительно при таком варианте исключаются ленточные конвейеры и грохоты на стадии мелкого дробления. Взамен их используются гидроциклоны, песковые насосы и трубопроводы, что приводит к существенному снижению эксплуатационных затрат [4].

Технологические и эксплуатационные характеристики дробилок КИД позволяют успешно использовать их для переработки техногенного сырья. Поскольку они не боятся недробимых тел, в них можно перерабатывать шлаки цветных и черных металлов, попутно извлекая их из сырья, или огнеупоры и литейные пески тоже с извлечением из них металлов. Эти же машины эффективно используются для переработки стружковых отходов, твердых сплавов или отработанного абразивного инструмента в порошок для вторичного использования [1,3]

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсберг Л.А. Новое оборудование для дробления и измельчения различных материалов / Л.А.Вайсберг, Л.П.Зарогатский // Горный журнал. 2000. № 3.
2. Вайсберг Л.А. Технологические возможности КИД при производстве кубовидного щебня / Л.А.Вайсберг, А.Д.Шуляков // Строительные материалы. 2000. № 1.
3. Вайсберг Л.А. Универсальная технология переработки и регенерации металлургических шлаков, огнеупоров и литейных песков / Л.А.Вайсберг, Л.П.Зарогатский, Ю.И.Азбель // Черные металлы. 2000. № 4.
4. Зарогатский Л.П. Опыт применения конусных инерционных дробилок на горно-обогатительных комбинатах / Л.П.Зарогатский, А.Н.Сафронов, В.А.Черкасский // Обогащение руд. 2000. № 1.
5. Ревнищев В.И. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов / В.И.Ревнищев, Г.А.Денисов, Л.П.Зарогатский, В.Я.Туркин. М.: Недра, 1992.