© П.Я. Бибиков, А.Д. Бардовский,
П.Е. Митусов, А.В. Калакутский, 2015

УДК 622.73

П.Я. Бибиков, А.Д. Бардовский, П.Е. Митусов, А.В. Калакутский

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЛАБЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведен краткий анализ способов разрушения горных пород с помощью наиболее распространенного механического оборудования. Описан процесс разрушения горной массы и влияния способа разрушения на энергоэффективность процесса. Сделан вывод о необходимости разработки нового образца измельчительного оборудования, используемого для разрушения слабых горных пород с одновременной классификацией. Приведена конструктивная схема измельчителя-классификатора, дано описание принципа его работы.

Ключевые слова: измельчитель-классификатор, сдвиговые напряжения, вал-измельчитель, перфорированный барабан, разные окружные скорости.

По способу измельчения все измельчители можно разделить на следующие основные группы: раскалывающего и разламывающего действия; раздавливающего действия; истирающе-раздавливающего действия; ударного действия; ударно-истирающего действия; коллоидные измельчители.

В основу принятой классификации измельчителей положен главный способ, с помощью которого измельчается материал. При необходимости измельчать тот или иной материал до частиц определенного размера предварительно выбирают способ измельчения, позволяющий достигнуть необходимого результата, далее подбирается тип и конкретная модель оборудования. С этой точки зрения указанная классификация измельчителей являются наиболее удобной. Основной способ измельчения всегда сопровождается сопутствующими. Например, в раздавливающем или ударном измельчителе происходит и истирание, но оно не является основным способом измельчения, а возникает произвольно и трудно поддается оценке энергетических затрат.

Современные измельчители выпускаются с двигателями определенной мощности рассчитанной на измельчение материалов средней прочности. Поэтому, когда измельчаются слабые (малопрочные) породы, двигатель имеет избыточную мощность и общая энергоэффективность процесса измельчения ухудшается.

Различие в энергетических затратах на измельчение материала разными способами, можно было бы охарактеризовать коэффициентом полезного действия. Если бы можно было бы определить ту минимальную работу, которая необходима для получения определенного результата, независимо от способа, то удалось бы определить коэффициент полезного действия каждого способа, поскольку фактический расход энергии можно определить прямым замером. Однако, исследования проведенные в этом направлении пока еще не дают однозначного ответа о коэффициентах полезного действия различных способов измельчения.

На затраты, а точнее на перерасход энергии не менее важное влияние оказывают условия ведения процесса.

В настоящее время для измельчения различных горных пород наиболее широко применяются барабанные шаровые мельницы, при этом энергетические показатели учитываются недостаточно, тем не менее удельные энергетические затраты на помол крепких и слабых горных пород отличаются в несколько раз. Например, при измельчении кварца ($\sigma_{сж}$ = 400 МПа) и корунда ($\sigma_{сж}$ = 500 МПа) удельная энергия измельчения соответственно равна 45,5 и 52,4 кВт·ч/т, а при измельчении талька ($\sigma_{сж}$ = 28 МПа и гипса ($\sigma_{сж}$ = 40 МПа) –111 и 125 кВт·ч/т. Кроме того, в процессе измельчения необходимо варьировать размерами мелющих тел, в соответствии с уменьшением размера зерен материала, что на практике не производится. Это приводит к завышенному расходу металла (износу мелющих тел) и энергетическим затратам на единицу измельчаемого материала.

В ряде случаев измельчение материала производится на оборудовании истирающе-раздавливающего действия, таких как жерновые, бегунковые, валковые катково-тарельчатые и др. мельницы.

Энергоэффективность на этом оборудовании измельчения возрастает т.к. в процессе разрушения, происходит значительное объемное уплотнение дисперсного материала, что оказывает влияние на взаимодействие частиц между собой и с рабочей поверхностью измельчителя. Частицы примыкающие к рабочей поверхности обладают меньшей возможностью перемещений, чем те что расположены в объеме (слое). Взаимосвязь контактных и объемных деформаций можно проследить, условно разделив процесс измельчения на отдельные этапы в соответствии с ростом возникающих усилий.

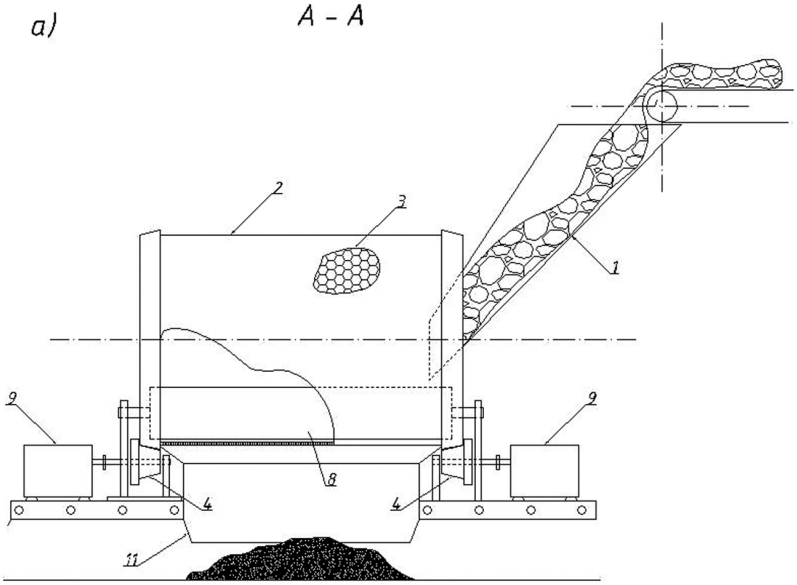
На первом этапе, при сравнительно небольших нагрузках, происходит переупаковка частиц и образование каркаса уплотненного тела. При этом наряду с заполнением полостей смещающимися частицами происходит разрушение менее прочных. Частицы подвергаются упругим и отчасти пластическим деформациям, либо разрушаются по ослабленным сечения или трещинам, где местные напряжения превышают предел прочности.

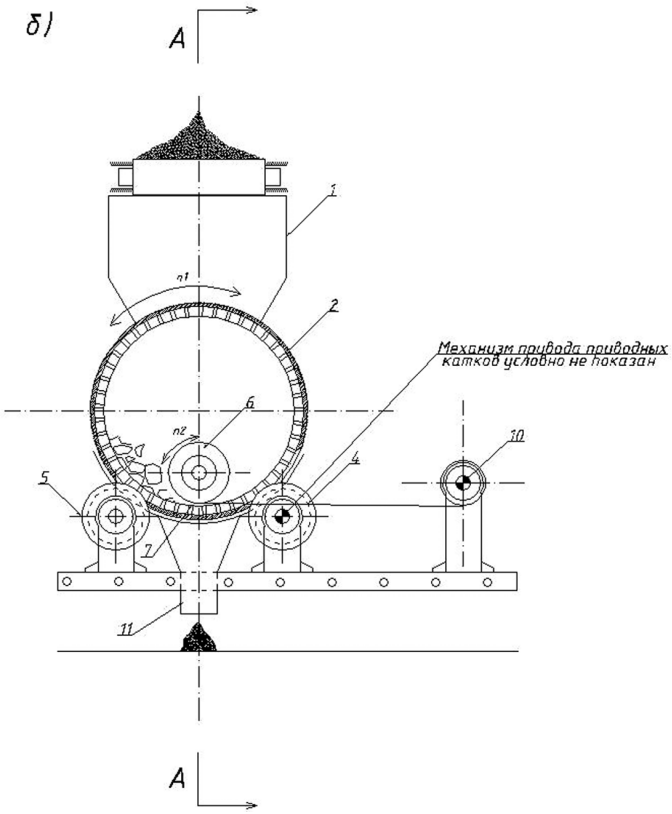
На втором этапе измельчения преобладает пластическое деформирование всего объема материала. Уменьшение объема невелико и происходит за счет разрушения частиц относительно друг друга.

На каждом этапе получают частицы различной дисперсности, среди которых имеются такие, которые не должны быть подвергнуты разрушению, но конструкции современных измельчителей не предоставляют возможности их извлечения (классификации) из процесса. Они остаются в общей массе материала, воспринимают на себя часть действующих усилий, поглощают энергию разрушения, переизмельчаются, замедляя процесс измельчения.

Иная картина наблюдается, когда рабочие поверхности измельчителя совершают движения, приводящие к напряжению «сдвиг-сжатия». В этом случае, благодаря одновременной работе касательных (тангенциальных) и осевых сил, процесс измельчения становится более эффективным, т.к. предел прочности на сдвиг [$\tau_{сдв}$] составляет, в среднем, от 8 до 16% от предела прочности на сжатие [$\sigma_{сж}$]. Поэтому разработка конструкции измельчительного оборудования, способного измельчать материал с помощью комбинированного напряжения, является актуально задачей.

Учитывая отрицательный эффект от наличия в массе измельчаемого материала частиц, которые в силу своего размера не нуждаются в разруше-





Измельчитель-классификатор: а) общий вид, б) разрез А-А

нии и присутствие которых снижает эффективность процесса измельчения, необходимо предусмотреть в конструкции измельчителя возможность удаления (классификации) этих частиц.

Такой конструкцией может являться измельчитель-классификатор, представленный на рисунке, который содержит загрузочное устройство *1*, вращающийся перфорированный барабан *2*, с отверстиями перфорациями *3*, опирающийся на приводной *4* и поддерживающий *5* ролики. Внутри перфорированного барабана *2* размещен рабочий элемент в виде вала-измельчителя *6*, установленный с технологическим зазором *7* пропорциональным размеру отверстий перфорированного барабана *3*. Вал-измельчитель *6* снабжен сменными рабочими рельефными накладками *8*. Перфорированный барабан *2* и вал-измельчитель *6* снабжены реверсивными индивидуальными приводами *9*, *10*, соответственно. Под перфорированным барабаном расположено разгрузочное устройство *11*.

Измельчитель-классификатор работает следующим образом. Предварительно подготовленный по размеру к измельчению в данном агрегате исходный материал, через загрузочное устройство *1* попадает на внутреннюю поверхность перфорированного барабана *2*, вращающегося и опирающегося на приводные *4* и поддерживающие *5* ролики. Окружная скорость перфорированного барабана *2* отличается от окружной скорости вала-измельчителя *6* за счет использования индивидуальных приводов *9*, *10*. Попадающий в зазор *7* между валом-измельчителем *6* и перфорированным барабаном *2* материал подвергается высокоэффективному измельчению и через отверстия перфорированного барабана перфорации *3* попадает в разгрузочное устройство *11*.

Повышенная эффективность разрушения материала достигается за счет наличия разницы в окружных скоростях вращающегося вала-измельчителя и перфорированного барабана, вследствие чего на измельчаемый материал подвергается одновременно как нормальным, так и сдвиговым (тангенциальным) напряжениям. Эта особенность разрушения положительно влияет на энергетические затраты и производительность агрегата, т.к. все природные и искусственные каменные материалы хорошо противостоят одноосному сжатию, тогда как способность их противостоять разрушению на сдвиг составляет 8–16% от предела прочности на сжатие.

Кроме того, разница в окружных скоростях вала-измельчителя и перфорированного барабана приводит к появлению различных направлений движения отдельных слоев материала относительно друг друга, что положительно влияет на процесс разрушения и классификации. Использование на внутренней поверхности перфорированного барабана и поверхности вала-измельчителя футеровок с повышенными фрикционными свойствами относительно измельчаемого материала, позволяет создать условия, при которых внешнее трение будет превышать внутреннее в слое, что положительно скажется как на процессе разрушения, так и на процессе классификации.

Из теории и практики грохочения известно, что материал с размером частиц $\leq 0{,}85B$ (где B – размер отверстия просеивающей поверхности) является легкогрохотимым, а при $\geq 0{,}85B$ – трудногрохотимым, поэтому величина зазора между валом-измельчителем и перфорированным барабаном зависит от этого критерия.

Использование регулируемого зазора между валом-измельчителем и перфорированным барабаном повы-

шет эффективность процесса грохочения. Также регулировкой зазора можно добиться минимальной толщина слоя измельчаемого материала, что положительно сказывается на общей энергоэффективности процесса, т.к. при минимальной толщине слоя, количество частиц, не нуждающихся в измельчении стремится к нулю.

Применение сменных рабочих рельефных накладок на поверхности вала-измельчителя позволяет интенсифицировать процесс разрушения за счет повышенных удельных напряжений при контакте с разрушаемым материалом. Рельеф и размер рабочих накладок выбирается исходя из конкретных физико-механических свойств материала. Так, например, для хрупких горных пород и материалов рекомендуется применять гладкую поверхность накладки вала-измельчителя или снабженную полусферами, расположенными в шахматном порядке, для вязких и пластичных – накладки выполненные в виде винта или штырей, расположенных в шахматном порядке. Расположение элементов в шахматном порядке обусловлено увеличением рабочей поверхности вала-измельчителя.

Таким образом применение «Измельчителя-классификатора» для переработки слабых горных пород позволит не только повысить эффективность измельчения и классификации, но и снизить энергоемкость этих процессов, особенно при получении тонкодисперсного продукта.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бибиков Павел Яковлевич – кандидат технических наук, доцент,
Бардовский Анатолий Данилович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,
Митусов Павел Евгеньевич – аспирант,
Калакутский Алексей Васильевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

UDC 622.73

DESIGN IN ADDITION SHREDDER CLASSIFIER FOR PROCESSING WEAK ROCKS

Bibikov P.Ya.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Bardovskii A.D.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,
Mitusov P.E.[1], Graduate Student,
Kalakutskii A.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair,
1 Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

The article gives a brief analysis of the means of destruction rock mass with the help of the most common mechanical equipment. Describes the process of destruction of rock mass and the influence of the means of destruction on the energy efficiency of the process. The conclusion is made about the necessity to develop the new type grinding equipment used for the destruction of weak mining rocks with simultaneous classification. Given the constructive scheme of a chopper-classifier, given a description of the principles of its work.

Key words: shredder-classifier, shear stresses, the shaft-shredder, perforated drum, different circumferential speeds.