

## КОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ

*Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Бережанский В.Н.*

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*

**Ключевые слова:** дробление, энергоэффективность, производительность, валковая дробилка, сдвиг, касательные напряжения, упор.

**Аннотация.** Анализ конструкций дробильных машин и способов диспергации в них хрупкого материала показал, что наиболее энергоэффективным является такой процесс, при котором дробление происходит в том случае, если в перерабатываемом куске возникают только касательные напряжения, под действием которых возникает деформация сдвига. Известна одновалковая дробильная машина, в которой процесс разрушения кусков хрупкого материала происходит под действием касательных напряжений, однако ее производительность ограничена конструктивными особенностями данной машины. В предложенной статье описана конструкция энергосберегающей высокопроизводительной одновалковой дробильной машины, работающей на сдвиг, в которой измельчение исходного куска происходит непрерывно. Материалы статьи представляют интерес для специалистов в области машиностроения, а также горной, металлургической, химической и строительной промышленности.

## THE DESIGN ENERGY EFFICIENT HIGH PERFORMANCE SINGLE ROLL CRUSHER OPERATING ON A SHEAR

*Nikitin A.G., Epifanctev Yu.A., Berezhansky V.A.*

*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk*

**Keywords:** crushing, energy efficiency, productivity, roll crusher, shear, tangential stresses, thrust.

**Abstract.** An analysis of the designs of crushing machines and methods of dispersing brittle material in them has shown that the most energy-efficient process is one in which crushing occurs if only tangential stresses occur in the processed piece, under the influence of which shear deformation occurs. A single-roll crushing machine is known in which the process of breaking pieces of brittle material occurs under the influence of tangential stresses, but its performance is limited by the design features of this machine. The proposed article describes the design of an energy-efficient, high-performance single-roll shear crushing machine in which the initial piece is continuously crushed. The materials of the article are of interest to specialists in the field of mechanical engineering, as well as mining, metallurgical, chemical and construction industries.

### Введение

Во многих производственных процессах необходимо использовать хрупкие материалы заданного размера. В различных отраслях промышленности, в том числе металлургической и горной, потребление диспергированного минерального сырья в мировом объеме ежегодно увеличивается на 3-8 % [1].

Эффективность технологических процессов оценивается различными параметрами, при этом одним из важнейших является его энергоемкость, которая определяется при дроблении как отношение полученной в результате дробления массы готового продукта к единице затраченной на ведение процесса энергии [2].

Нужную для ведения технологических процессов фракцию получают измельчением исходных кусков различными способами.

### Состояние вопроса

В промышленности в подавляюще большинстве случаев диспергация минерального сырья осуществляется путем создания в дробимом куске нормальных напряжений, возникающих при сжатии. Также в некоторых случаях используют дробилки ударного действия [3].

Дробильные машины, в которых генерируются нормальные напряжения и возникают

деформации сжатия обрабатываемых кусков, по способу создания деформации сжатия конструктивно делятся на различные типы: щековые [4], валковые и конусные.

За счет создания в дробимых хрупких кусках одинакового напряженно-деформированного состояния, в данном случае сжатия, энергопотребление при разрушении равнопрочного материала равного объема также будет одинаковым.

Однако известно, что процесс дробления хрупких материалов при сжатии требует максимального потребления энергии по сравнению с другими способами диспергации [5].

В дробильных машинах ударного действия разрушение хрупкого материала осуществляется раскалыванием заостренным рабочим инструментом за счет запаса кинетической энергии.

При диспергации хрупкого материала ударом расход энергии при прочих равных условиях, прочности и объема материала, примерно в полтора раза меньше, чем при сжатии. Недостатком дробильных машин ударного действия является тот факт, что только 25-30 % получаемой фракции соответствуют необходимому диапазону [6].

Для уменьшения расхода энергии при диспергации хрупкого материала разработана конструкция одновалковой дробильной машины, у которой рабочая зона образована вращающимся валком и неподвижной щекой, в которую загружается подлежащий разрушению кусок хрупкого материала. При этом в дробимом куске возникают как нормальные напряжения сжатия, так и касательные [7]. При таком напряженном состоянии генерируется сложное напряженное состояние в обрабатываемом материале. В этом случае расчет на прочность ведется по эквивалентному напряжению, определяемому из первой гипотезы предельного состояния, адекватно оценивающей максимальное напряжение, возникающее в хрупком материале. Расчет по этой гипотезе показывает уменьшение предела прочности по сравнению с пределом прочности при сжатии на 20-40 %. Следовательно, использование такого процесса дробления способствует снижению расхода энергии при дроблении хрупкого материала.

Известна конструкция одновалковой дробилки [8], которая состоит из корпуса, в котором установлен приводной вращающийся валок, на поверхности которого равномерно расположены радиально установленные упоры, рабочей поверхностью направленные в сторону вращения вала. В верхней части корпуса имеется выгрузочная точка для подачи дробимого материала. Высота упоров одинаковая и равна величине зазора между наружной поверхностью вращающегося вала и нижней кромкой выгрузочной точки. Куски исходного материала последовательно загружаются через точку в пространство между внешней поверхностью вала, упором и нижней кромкой точки. Диспергация происходит за счет сдвига частиц материала друг относительно друга под действием касательных напряжений. При осуществлении такого процесса предел прочности обрабатываемого материала будет иметь минимально возможное значение, в два раза меньшее, чем при действии нормальных напряжений, возникающих при сжатии [9].

Вновь образовавшийся фрагмент сдвигается в сторону разгрузочной воронки и удаляется из машины.

Оставшийся в полости точке после диспергации фрагмент падает в карман, образованный поверхностью вала между двумя соседними упорами, а затем перемещается, опираясь на рабочую поверхность следующего упора, в сторону разгрузочной воронки. Таким образом, последний фрагмент разрушенного куска не участвует в процессе дробления, но занимает пространство, которое мог бы занять следующий исходный кусок, что является недостатком рассмотренной конструкции, лимитирующий возможную производительность.

Анализ конструкций дробильных машин и способов диспергации в них хрупкого материала показал, что наиболее энергоэффективным является такой процесс, при котором дробление происходит в том случае, если в перерабатываемом куске возникают только касательные напряжения, под действием которых возникает деформация сдвига.

Наиболее близким из известных технических решений является способ, осуществляемый одновалковой дробилкой, включающей приводной вращающийся валок, на

поверхности которого выполнены упоры, рабочей поверхностью направленные в сторону вращения вала и расположенные параллельно оси вала. Валковая дробилка содержит также неподвижную щеку, на поверхности которой выполнен выступ в виде упора, а высота упоров на валке и на неподвижной щеке одинаковая и равна половине величины зазора между валком и неподвижной щекой [10]. При такой конструкции валковой дробилки в зоне дробления в кусках дробимого материала возникают только касательные напряжения, действующих при возникновении сдвиговых деформаций.

Недостатком известного решения является вероятность изменения напряженного состояния дробимого куска материала, так как при контакте с верхней кромкой упора, расположенного на вращающемся валке, происходит первичное разрушение куска дробимого материала, один фрагмент раздробленного куска проваливается в зазор между упором на неподвижной щеке и валком, а другой фрагмент остается на рабочей поверхности неподвижного упора. После попадания следующего куска материала в зону дробления, он начинает нижней частью контактировать с верхней частью куска, оставшейся на рабочей поверхности неподвижного упора, в результате чего под действием подвижного упора верхний кусок смещается в сторону неподвижной щеки, а точка контакта верхней кромки подвижного упора также смещается в сторону неподвижной щеки, соответственно сдвигается в эту же сторону и линия разрушения второго куска. Один из получившихся фрагментов разрушенного второго куска меньшего размера проваливается в зазор между упором на неподвижной щеке и валком, а другой фрагмент, большего размера, остается на оставшемся от первого куска фрагменте, находящегося на рабочей поверхности неподвижного упора, и прижимается к неподвижной щеке. В дальнейшем при работе дробилки образуется столб из оставшихся фрагментов, прижатых к поверхности неподвижной щеки, при этом точка контакта между подвижным упором, и вновь загружаемого в зону дробления куска, постоянно смещается в сторону, противоположную неподвижной щеке и образовавшегося столба из оставшихся фрагментов, и в некоторый момент точка контакта переместится с верхней кромки упора на его плоскость. В этом случае изменится напряженное состояние дробимого куска на сложное, при котором в разрушаемом теле одновременно действуют нормальные и касательные напряжения, предел прочности при совместном действии которых больше, чем предел прочности при действии только касательных напряжений.

### **Объект исследования**

Сотрудниками Сибирского государственного индустриального университета разработана конструкция энергоэффективной высокопроизводительной одновалковой дробилки, работающей на сдвиг.

Техническая проблема, решаемая предлагаемой конструкции, заключается в создании валковой дробилки, позволяющей уменьшить расход энергии на дробление кусковых материалов, а также расширить технологические возможности способа для производства различного фракционного состава дробимого материала.

Существующая проблема решается тем, что дробление кусковых материалов в валковой дробилке, содержащей приводной вращающийся валок, на поверхности которого выполнены упоры, рабочей поверхностью направленные в сторону вращения вала, и неподвижную щеку с выступом в виде упора. При этом высота упоров на валке и неподвижной щеке одинаковая и равна половине величины зазора между валком и неподвижной щекой. Процесс дробления происходит при попадании диспергируемого куска между рабочей поверхностью упора, расположенного на валке, и рабочей поверхностью неподвижного упора, которую выполняют наклонной сверху вниз от щеки к горизонтальной оси вала, с углом наклона рабочей поверхности больше, чем угол трения между материалом дробимого куска и материалом, из которого изготовлен упор.

При осуществлении такого процесса диспергация происходит за счет сдвига частиц материала друг относительно друга под действием касательных напряжений, действующих при возникновении сдвиговых деформаций.

Упоры выполняют сменными, а неподвижную щеку устанавливают с возможностью регулирования зазора между наружной поверхностью вала и неподвижной щекой.

На рисунке 1 схематично изображена предлагаемая дробилка.

Дробилка состоит из корпуса, в котором установлен вращающийся валок 1, на поверхности которого установлены упоры 2, рабочей поверхностью направленные в сторону вращения валка и неподвижной щеки 3, выполненной заодно с упором 4, при этом высота упоров на валке и неподвижной щеке одинаковая и равна половине величины зазора между валком и неподвижной щекой  $b/2$ .

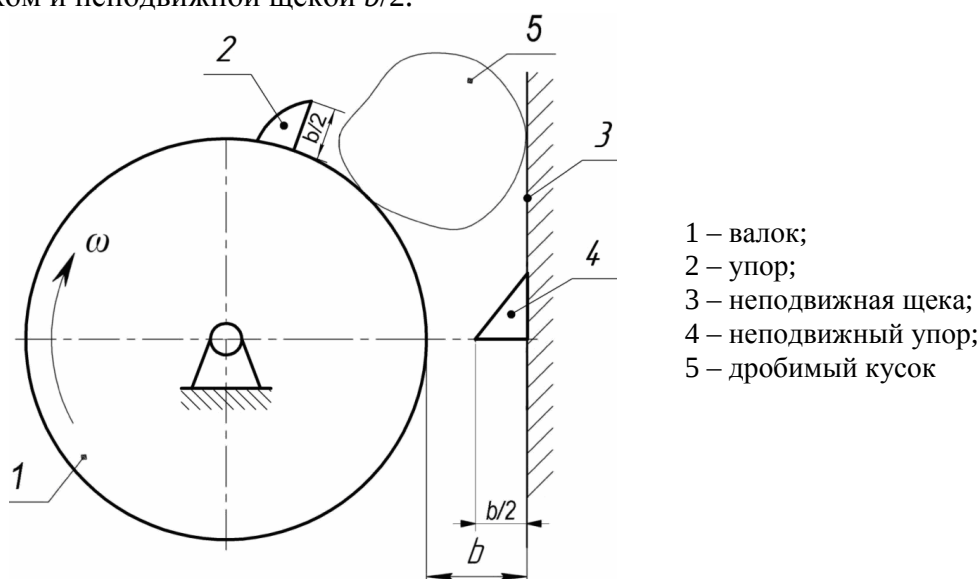


Рис. 1. Схема одновалковой дробилки

Дробилка работает следующим образом.

Кусок дробимого материала 5 подают в зазор между приводным вращающимся валком 1 и неподвижной щекой 3. При вращении валка упор 2, расположенный на поверхности валка 1 рабочей поверхностью соприкасается с куском 5 и начинает давить на кусок, при этом возникает сила, действующая на кусок и направленная в сторону зазора, за счет этого кусок затягивается в зону захвата и разрушается. Получившиеся в результате разрушения в зоне захвата куски размером меньше зазора между валком 1 и упором 4 проваливаются в зону отвода готового продукта, а осколки, которые соприкасаются с наклонной поверхностью неподвижного упора 4, соскальзывают с его наклонной поверхности, и проваливаются в зону отвода готового продукта. В это время в зазор между валком и щекой подается следующий подлежащий разрушению кусок и процесс дробления повторяется, то есть измельчение исходного куска происходит непрерывно, что увеличивает производительность энергоэффективной дробилки.

Технический результат, получаемый в результате использования предлагаемой конструкции, заключается в повышении производительности одновалковой дробилки и расширяет технологические возможности предлагаемого способа за счет наличия сменных упоров, высоту которых устанавливают равной половине величины зазора между наружной поверхностью валка и неподвижной щекой, что соответствует размеру фракции конечного продукта, а установка неподвижной щеки с возможностью регулирования этого зазора позволяет расширить фракционный состав дробимого материала и осуществлять дробление путем сдвига куска разрушаемого материала, что уменьшает расход энергии на дробление кусковых материалов.

Таким образом, за счет применения разработанной конструкции одновалковой дробильной машины уменьшается расход энергии на разрушение обрабатываемого материала, увеличивается ее производительность, а также имеется возможность получения заданной фракции переработанного продукта.

**Выводы.** Анализ конструкций дробильных машин и способов диспергации в них хрупкого материала показал, что наиболее энергоэффективным является такой процесс, при котором дробление происходит в том случае, если в перерабатываемом куске возникают

только касательные напряжения, под действием которых возникает деформация сдвига, за счет того, что при использовании других способов создания напряженного состояния в разрушаемом материале требуется значительно больший расход энергии. Разработана конструкция энергосберегающей высокопроизводительной одновалковой дробильной машины, работающей на сдвиг, в которой измельчение исходного куса происходит непрерывно, что позволяет увеличить производительность дробилки, работающей на сдвиг, а также имеется возможность получения заданной фракции переработанного продукта.

#### Список литературы

1. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. – Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
2. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
3. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Копосов П.В., Жуков И.А., Голиков Н.С. Щековые дробилки с криволинейным продольным профилем щек: классификация, тенденции развития и перспективы применения // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 135-145. – doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-135-145.
5. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. Сравнительный анализ энергозатрат дробилок, работающих на сжатие // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – №4. – С. 56-57.
6. Фишман М.А. Дробилки ударного действия. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 189 с.
7. Zhao L.L., Zang F., Wang Z.B. Multi-object optimization design for differential and grading toothed roll crusher using a genetic algorithm // Journal of China University of Mining and Technology. 2008, vol. 18, iss. 2, pp. 316-320.
8. Никитин А.Г., Баженов И.А., Курочкин Н.М. Повышение эффективности подготовки сырья для металлургических переделов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2024. – Т. 67, №5. – С. 612-615.
9. Goulet J. Resistance des materiaux. – Bordas Paris, 1976. – 192 p.
10. Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведева К.С., Герике П.Б. Силовой анализ процесса разрушения хрупких материалов в одновалковой дробильной машине с упором на валке // Известия вузов. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 303-307.

#### References

1. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. – Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
2. Tselikov A.I. Machines and aggregates of metallurgical plants. Vol. 1 – M.: Mechanical engineering, 1987. – 440 p.
3. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crushers. Design, calculation, features of operation. – M.: Mechanical engineering, 1990. – 320 p.
4. Koposov P.V., Zhukov I.A., Golikov N.S. Jaw crushers with curved longitudinal profile of cheeks: classification, development trends and application prospects // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 24, pp. 135-145. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-135-145.
5. Nikitin A.G., Sakharov D.F. Comparative analysis of energy consumption of crushers working on compression // News of universities. Ferrous metallurgy. 2011, no. 4, pp. 56-57.
6. Fishman M.A. Impact crushers. – M.: Gosgortehizdat, 1960. – 189 p.
7. Zhao L.L., Zang F., Wang Z.B. Multi-object optimization design for differential and grading toothed roll crusher using a genetic algorithm // Journal of China University of Mining and Technology. 2008, vol. 18, iss. 2, pp. 316-320.
8. Nikitin A.G., Bazhenov I.A., Kurochkin N.M. Increasing the efficiency of raw material preparation for metallurgical processing // News of universities. Ferrous metallurgy. 2024, vol. 67, no. 5, pp. 612-615.
9. Goulet J. Resistance des materiaux. – Bordas Paris, 1976. – 192 p.
10. Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Medvedeva K.S., Gerike P.B. Force analysis of brittle materials breaking process in a single roll crushing machine with emphasis on the roll // News of universities. Ferrous metallurgy. 2019, vol. 62, no. 4, pp. 303-307.

#### Сведения об авторах:

#### Information about authors:

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Никитин Александр Григорьевич</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики и машиностроения | <b>Nikitin Aleksandr Grigorievich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of the department of mechanics and mechanical engineering                    |
| <b>Епифанцев Юрий Андреевич</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и машиностроения          | <b>Epifantsev Yuri Andreevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of mechanics and mechanical engineering |
| <b>Бережанский Валерий Николаевич</b> – аспирант<br>nikitin1601@yandex.ru                                              | <b>Berezhansky Valery Nikolaevich</b> – postgraduate student                                                                                                            |

Получена 01.10.2025