Сахаров, Дмитрий Федорович. Анализ процесса дробления хрупких материалов в одновалковой дробилке с целью повышения энергоэффективности : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.13 / Сахаров Дмитрий Федорович; [Место защиты: Сиб. гос. индустр. ун-т].- Новокузнецк, 2011.- 115 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/745

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

На правах рукописи

04201253835 Сахаров Дмитрий Федорович

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ В ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКЕ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Специальность 05.02.13 - машины, агрегаты и процессы (металлургического производства)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Никитин А. Г.

Новокузнецк -2011

**Содержание**

[**Введение 4**](#bookmark2)

1. **Обзор методов дробления и процессов разрушения хрупких**

**материалов 9**

* 1. [Основные способы и механизмы разрушения материалов 10](#bookmark4)
  2. [Гипотезы дробления 15](#bookmark6)
  3. [Конструкции валковых дробилок. Мощность привода валковых дробилок 27](#bookmark9)
  4. Конструкция предохранительных устройств одновалковых

[дробилок 38](#bookmark13)

[**Выводы и постановка задачи исследования 41**](#bookmark14)

1. **Теоретический анализ процесса дробления хрупких**

**материалов в одновалковой дробилке 42**

* 1. Силовой анализ процесса дробления в одновалковой дробилке.

[Условия захвата дробимого куска 43](#bookmark17)

* 1. Определение напряжений, возникающих в разрушаемом куске при дроблении в одновалковой дробилке. Математическая

модель процесса разрушения 50

* 1. Математическая модель многостадийного процесса разрушения

[дробимого куска 54](#bookmark24)

[**Выводы 58**](#bookmark27)

1. [**Определение параметров одновалковой дробилки 59**](#bookmark28)
   1. Разработка методики оценки энергоэффективности дробилок

сжатия 60

* 1. [Расчет мощности двигателя одновалковой дробилки 67](#bookmark30)
  2. Сравнительный анализ установочной мощности двигателя

одно- и двухвалковой дробилок 72

3.4 Влияние диаметра валка и величины размера зазора между валком и

неподвижной щекой на степень дробления 77

[Выводы 81](#bookmark36)

1. [Экспериментальное исследование процесса дробления 82](#bookmark37)
   1. [Методика проведения экспериментов 83](#bookmark38)
      1. [Изготовление образцов 83](#bookmark39)
      2. Испытание образцов на УИМ - 20 84
      3. [Силоизмерительная аппаратура 85](#bookmark40)
   2. Результаты проведения эксперимента 86
      1. Описание экспериментальной установки 86
      2. [Силовые характеристики процесса дробления 90](#bookmark41)
      3. [Характер разрушения куска в одновалковой дробилке 92](#bookmark42)
      4. Разрушение в одновалковой дробилке анизотропных

материалов 96

* 1. Влияние коэффициента трения между дробимым куском и неподвижной щекой на минимальный размер зазора,

при котором происходит захват образца 98

* 1. Определение положения плоскости максимальных касательных

напряжений 101

* 1. [Конструкция предохранительного устройства 104](#bookmark12)

[Выводы 105](#bookmark52)

[Основные выводы 107](#bookmark53)

[Список использованных источников 109](#bookmark54)

Приложения 115

**Введение**

**Актуальность.** Проблема дробления твердых материалов и, прежде всего, минерального сырья в виде хрупких пород различного состава и прочности является значимой на протяжении многих лет. Измельченные материалы лежат в основе всей металлургической, строительной и горной промышленности. На дробление хрупких пород используются огромные энергетические ресурсы. Известно, что ежегодно, начиная с 1980-х годов, из недр Земли извлекается около 20 млрд. т. минерального сырья. Вся эта горная масса, в той или иной степени, подлежит измельчению, в том числе, и дроблению на обогатительных фабриках, в строительной индустрии, на что расходуется десятки ГВт часов энергии.

Исходя из этого, очевидно, что особую значимость представляют разработки новых и совершенствование существующих процессов дробления. Известно, что предел прочности при одноосном сжатии имеет величину в 1,8...2,0 раза больше, чем предел прочности при сдвиге. Поэтому любые изменения технологии дробления хрупких материалов, направленные на генерацию в очаге разрушения зоны дробления деформаций сдвига между слоями разрушаемого материала, способствуют в той или иной мере уменьшению расхода энергии на дробление. Таким образом, актуальными являются практически все научные и технические решения в этом направлении.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно- исследовательских работ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет» при поддержке гранта №11БИ-10 в области технических наук по проблемам металлургии.

**Цель работы.** Провести анализ процесса дробления хрупких материалов в дробилке, при котором происходит разрушение дробимого

куска, в том числе, и под действием касательных напряжений. На основе теоретических и экспериментальных исследований определить энергоэффективность дробилок, у которых в дробимом куске возникают касательные напряжения, по сравнению с известными дробилками сжатия. Для реализации цели в работе поставлены следующие **задачи:**

* проведение силового анализа процесса дробления в одновалковой дробилке и определение возникающих в дробимом куске напряжений, установление условий захвата дробимого куска в зазор между валком и щекой;
* создание математической модели процесса разрушения хрупкого материала под действием сложного напряженного состояния, в том числе, и для многостадийного процесса дробления;
* разработка методики расчета установочной мощности привода одновалковой дробилки. Проведение сравнения энергоэффективности одновалковой дробилки с дробилками сжатия (щековой, конусной, двухвалковой);
* изготовление исследовательской установки и проведение испытаний образцов для проверки теоретических выводов;
* изучение влияния коэффициентов трения, а также размеров диаметра валка и величины зазора между валком и щекой на степень дробления. **Научная новизна:**
* проведен анализ влияния касательных напряжений на характер разрушения дробимого куска в одновалковой дробилке;
* установлены условия захвата дробимого куска в зазор между валком и неподвижной щекой одновалковой дробилки, зависящие от коэффициентов трения между дробимым куском и дробящими телами;
* определены силы и напряжения, действующие на дробимый кусок и угол положения плоскости максимальных касательных напряжений.

Получена математическая модель поэтапного разрушения дробимого куска по плоскостям максимальных касательных напряжений;

* установлено влияние диаметра валка, зазора между неподвижной щекой и валком, коэффициентов трения на степень дробления. **Практическая значимость** работы заключается в том, что

выполненные исследования позволили определить параметры одновалковой дробилки, в том числе и мощность привода, расход энергии у которой на дробление по сравнению с дробилками сжатия в 2 - 3 раза ниже. Разработана конструкция предохранительного устройства, позволяющего повысить качество готового продукта за счет исключения попадания в него недробимых предметов. Практическая значимость подтверждается актом внедрения результатов в промышленности.

**Реализация результатов.** По результатам выполнения комплекса исследовательских и конструкционных работ в рамках диссертационной работы на предприятии ООО «ГП «Карьер Таензинский» была изготовлена и освоена одновалковая дробилка. Экономический эффект от внедрения составил 128 тыс. руб. в год.

**Научные результаты, выносимые на защиту и личный вклад автора.** На защиту выносятся следующие результаты, полученные лично автором:

* теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение энергоэффективности разрушения материала в дробилке под действием касательных и нормальных напряжений;
* определение условий захвата кусков материала в зазор между валком и неподвижной щекой;
* обосновано, что разрушение дробимого куска в одновалковой дробилке происходит по плоскости действия максимальных касательных напряжений. После разрушения куска на несколько частей, если они не проходят в зазор, то их дальнейшее разрушение осуществляется по плоскостям максимальных касательных напряжений;
* методика расчета установочной мощности привода одновалковой дробилки. Сравнение мощности привода одно- и двухвалковой дробилок;
* конструкция предохранительного устройства, позволяющая исключить попадание недробимого предмета в тракт готового продукта. **Достоверность и обоснованность научных положений и**

**результатов** обеспечена сочетанием методов теоретического анализа, сходимостью значений величин, полученных различными методами, использованием классических положений теории упругости, законов механики разрушения и теории сопротивления материалов, совпадением данных, полученных теоретическими методами и экспериментом.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: XIX научно- практической конференции по проблемам механики и машиностроения (Новокузнецк, 2009); XXX Российской школе по проблемам науки и технологий, посвященной 65-летию Победы (Миасс, 2010); Научно- практической конференции молодых специалистов ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» (Новокузнецк, 2011); XIV Всероссийском форуме молодых ученых с международным участием «Молодежь в образовании, науке, бизнесе и власти» (Екатеринбург, 2011); I Всероссийской научно- практической конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования Молодых - Регионам» (Новокузнецк, 2011); Международная научно-практическая конференция - Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов (Новокузнецк, 2011).

**Публикации.** Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 8 печатных работах, в том числе, 3 работах в журналах из

перечня ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций. Получено два патента на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов и приложений. Изложена на 115 страницах, содержит 45 рисунков, 5 таблиц, список использованных источников из 61 наименования.

1. **Обзор методов дробления и процессов разрушения хрупких материалов**

Каждая машина создается для ведения какого-либо технологического процесса. Как правило, этот процесс развивается быстрее, чем сама машина, в том числе, под воздействием роста потребления производимой продукции (мировая потребность в различных видах металлов, например, растет на 3-8% в год [1]), из-за введения в переработку различных материалов с новыми свойствами и так далее. Первоначальные параметры машины перестают удовлетворять развившимся потребностям ее применения. Эта проблема инициирует развитие техники. Рост потребления готовой продукции требует повышения производительности машин, их единичной мощности путем модернизации оборудования, проведения анализа и решения конструкторской задачи и тому подобное.

Многие промышленные производства: металлургические, горные и другие, перерабатывают и используют в больших количествах сыпучие материалы различных классов крупности. В большинстве случаев, нужная крупность достигается измельчением более крупных кусков на дробилках.

Наибольший вклад в изучение процессов дробления внесли: П. В. Риттингер, В. А. Кирпичев, Ф. Кик, Ф. Бонд, А. К. Рундквист, Родин Р. А., Б. В. Клушанцев, В. А. Бауман, Ю. А. Муйземнек, В. А. Масленников и др.

Необходимость в переработке материалов с новыми свойствами вызывает потребность в принципиально новых подходах, прежде всего, к проблеме разрушающего воздействия машины на материал, а также к реализации нового способа, что достигается решением конструкторских задач [2].

**Выводы:**

1. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что потребная для разрушения в одновалковой дробилке сила меньше силы дробления сжатием. Экспериментально установлено, что потребная для разрушения в одновалковой дробилке сила, примерно, в 2,3 - 2,8 раз меньше силы дробления сжатием.
2. При дроблении в одновалковой дробилке на дробимый материал помимо нормальных сжимающих напряжений действуют и касательные напряжения, поэтому в дробимом куске складывается сложное напряженное состояние, о чем свидетельствует характер разрушения образцов.
3. Доказано, что разрушение происходит по плоскости действия максимальных касательных напряжений (для изотропных материалов). Анизотропные материалы разрушаются по плоскостям наименьшего сопротивления.
4. Определено влияние коэффициента трения между дробимым куском и неподвижной щекой на минимальный зазор, при котором происходит захват образца. Чем меньше коэффициент трения между дробимым куском и неподвижной щекой, тем меньше минимальный зазор и, следовательно, больше степень дробления.
5. Получено расчетное и экспериментальное значение угла *в* , определяющего положение плоскости максимальных касательных напряжений. Выявлено, от каких параметров зависит угол *в.* Угол *9,* определяющий положение плоскости максимальных касательных напряжений, будет увеличиваться при снижении коэффициента трения между куском дробимого материала и щекой **/2** и уменьшении разности между *arctgf) - а .*
6. Разработана конструкция предохранительного устройства, которая обеспечивает получение готового продукта более высокого качества за счет исключения возможности попадания в готовую продукцию недробимых предметов.

**Основные выводы**

1. На основании проведенного силового анализа показано, что в одновалковой дробилке на кусок дробимого материала действуют как сжимающие силы, вызывающие в куске действие нормальных напряжений, так и крутящий момент, вызывающий действие касательных напряжений, то есть, в куске создаётся сложное напряжённое состояние. Захват дробимого куска в зазор между валком и щекой осуществляется, если:

* угол трения между куском дробимого материала и валком больше, чем угол захвата;
* угол, на который отклонена от горизонтали равнодействующая силы трения между куском и валком и силы нормального давления больше, чем угол трения между дробимым материалом и неподвижной щекой.

1. Разработана математическая модель процесса разрушения хрупкого материала под действием сложного напряженного состояния. Определено, что при дроблении материала, проходящего в несколько стадий, разрушение происходит последовательно по плоскостям максимальных касательных напряжений и происходит до тех пор, пока размер вновь образованных кусков не станет меньше, чем зазор между валком и щекой.
2. Проведен сравнительный анализ работы дробилок сжатия, в результате которого определено, что производительность двухвалковой дробилки больше, чем производительность щековой и конусной дробилок при прочих равных условиях (одинаковой степени дробления, числе ходов рабочего органа и мощности привода), соответственно, у двухвалковых дробилок расход энергии будет меньше, чем у щековых и конусных дробилок. Проведен сравнительный анализ мощности привода одно- и двухвалковой дробилок. Установочная мощность привода одновалковой дробилки будет в **2** раза меньше, чем мощность двухвалковой дробилки, соответственно, расход энергии у одновалковой дробилки будет меньше на ту же величину.
3. Экспериментально подтверждено, что разрушение дробимого куска происходит по плоскости действия максимальных касательных напряжений (для изотропных материалов). Определено, что для дробления куска материала, в котором создается сложное напряженное состояние, сила, необходимая для его разрушения, в 2,3 - 2,8 раз меньше, чем сила, прикладываемая при сжатии.
4. Установлено, что для увеличения степени дробления в одновалковой дробилке необходимо увеличивать коэффициент трения между куском дробимого материала и валком и уменьшать его между куском дробимого материала и неподвижной щекой. Также для увеличения степени дробления необходимо увеличивать диаметр валка и уменьшать зазор между валком и неподвижной щекой. Данное положение, определенное для одновалковой дробилки, не противоречит условию для двухвалковой дробилки.

**Список использованных источников**

1. Полторацкий JI. М., Барнаев И. А. Конкурентность черной металлургии в условиях кризисных явлений - Новокузнецк: Полиграфист, 2009. - 129с.
2. Масленников В. А. Дробилки разрушающие материал сжатием // Изв. вузов. Горный журнал. 1996. №10-11. С. 124-138.
3. Протасов Ю. И. Разрушение горных пород. - М.: Изд-во МГГУ, 2001. - 453 с.
4. Протасов Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. - М.: Недра, 1985. - 242 с.
5. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. - М.: Теплотехник, 2007. - 672 с.
6. Крюков Г. М., Глазков Ю. В. Феноменологическая квазистатическо- волновая теория деформирования и разрушения материалов взрывом зарядов промышленных ВВ. - М.: Изд. МГГУ, 2003. - 67 с.
7. Griffits A. A. The phenomena of Rupture and Plou in Solids, vol. 221, A587, 2 oktober, 1920. - P. 163-198.
8. Журков С. H. К вопросу о физической природе прочности. ФТТ, т. 22, вып. 11, 1980, с. 13-15.
9. Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муйземнек Ю. А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990.-320 с.
10. Лагунова Ю. А. Дробимость хрупких материалов при разрушении их сжатием//Изв. вузов. Горный журнал. 1996. №10-11. С. 121-124.

П.Грубачич В. Двухвалковые дробилки: Особенности и преимущества // Цемент и его применение. - 2006. - №2. - С. 56-59.

1. Шлаин И. Б. Разработка месторождений карбонатных пород. - М.: Недра, 1968.-С. 143-149.
2. Родин Р. А. О работе, расходуемой на дробление горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. - 1987. - № **6**. - С. 84-89.
3. Rittinger P. V. Lenbruch fur Aufbereitungakunde. - Berlin, 1867.
4. Родин P. А. Об определении работы дробления // Изв. вузов. Горный журнал. - 1992. - № 3. - С. 103-110.
5. Родин Р. А. О гипотезах дробления // Изв. вузов. Горный журнал. 1989. №4. С. 71-78.
6. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей на прочность и долговечность. - М.: Машиностроение, 1985. - 223 с.

18.0левский В. А. Размольное оборудование обогатительных фабрик. - Л, 1963.-225 с.

1. Buss В., Shubert Н. Zur Bruchfunction bei der Einselkomd ruckzerkleinerung, Zerkleingen, Zerkleinerun in Canns. 1971.
2. Кирпичев В. А. О подобии при упругих явлениях // Журнал русского физико-химического общества. - 1874. - Т. VI, вып. IX. - С. 152-155.
3. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1975. 351 с.
4. Tartaron F. X. Foundation of General Theory Comminution American inst. of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers Trans. - 1964. - V. 229.
5. Hukki R. T. Tumbling mill capacity and power consumption are related to mill speed // Trans. AIME, 1954. - Vol. 199. - P. 728-730.
6. Ребиндер П. А., Шрейнер JI. А., Жигач К. Ф. Понизители твердости породы при бурении. - М., АН СССР, 1941. - С. 58-71.
7. Бонд Ф. С. Законы дробления / Тр. Европейск. совещ. по измельчению. - М.: Стройиздат, 1966. - С. 195-208.
8. Ходаков Г. С. Физика измельчения. - М.: Наука, 1972.
9. Клушанцев Б. В. Расход энергии на дробление материала // Строительные и дорожные машины. 1994. №**8**. С. 20-21.
10. Мирко В. А., Кабанов Ю. А., Хлевный И. А. и Татаркин Н. J1. Промышленное применение рекомендаций по измельчению топлива, используемого при агломерации // Сталь. - 1998. - №7. - С. 7-12.
11. Brach I. Theoretishe problemi der Mineralstoffserkleinerung und deren Finflub auf der Entweiklund der Zerkleinerung maschinen wiss // L.Techn. Koohschkle. Otto nongueriche. - Magdeburg, 1965. № 1-2.
12. Ракишев Б. P., Кушпанов М. С. Математическая модель энергоемкости разрушения горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. - 1990. - № 12. -С. 50-53.