

622.73

СЗ

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ
И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД
ЗА РУБЕЖОМ

МОСКВА 1973

622.73 | 8/14

0 38

вспомогательного листа
до отчисления и
сдачи в архив

149

0-13

05.04.91-267

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выданных _____

9/12/441

05.04.91-267

2005.

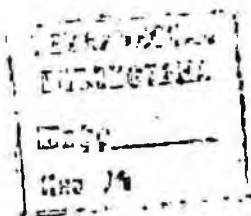
622.73

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР.

с 38

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ
И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД
ЗА РУБЕЖОМ



МОСКВА 1973

УДК 622.73:622.34(-87)

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД ЗА РУБЕЖОМ

Л.Н.Синельникова

А н н о т а ц и я

В обзоре рассмотрены работы, проводимые за рубежом в области разработки специальных методов подготовки руд к обогащению: электрогидравлическое дробление, вибрационное, центробежное, взрывное и струйное измельчение. Приводится описание конструкций установок и показатели их работ.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, 65–70% себестоимости обогащения руд приходится на долю операций дробления и измельчения, а стоимость дробильно-измельчительных цехов современных обогатительных фабрик составляет 40–50% от общих капиталовложений. Прогресс в области оборудования и технологии дробления и измельчения в решающей степени определяет улучшение общих технико-экономических показателей обогащения.

В настоящее время за рубежом работают над новыми направлениями в области дробления и измельчения руд, которые заключаются в различных воздействиях на материал немеханическими факторами (давлением, температурой, электромагнитными полями и т.д.).

Большое внимание уделяется разработкам электрогидравлического метода дробления, основанного на использовании энергии электрического разряда, осуществляемого в водной среде; центробежного метода измельчения, в котором измельчение материала осуществляется шарами, движущимися под действием центробежной силы; взрыво-струйного измельчения, основанного на распаде горных пород под действием внутренних сил растяжения при быстром снятии с них внешнего давления; вибрационного измельчения и др.

Некоторые из этих методов (электрогидравлическое дробление, вибрационное измельчение) уже успешно используются для дробления и измельчения руд черных и цветных металлов; другие (взрыво-струйное измельчение) находятся в стадии полупромышленных и промышленных испытаний.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ

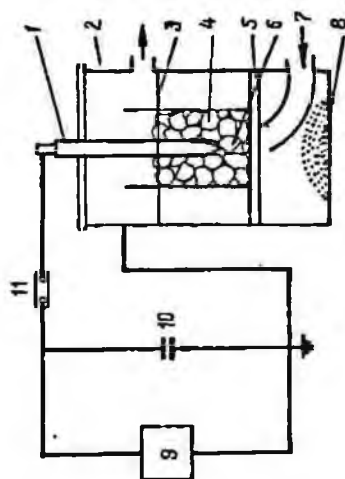
Проводимые за рубежом работы в области разработки специальных методов дробления сосредоточены в основном на совершенствовании открытого в 1905 г. немецким ученым Свеаборгом электрогидравлического эффекта и разработанного на его основе электрогидравлического метода дробления.

Сущность эффекта заключается в том, что при прохождении кратковременного электрического заряда через жидкость образуются ударные волны, под действием которых происходит разрушение материала, находящегося в ней. При электрогидравлическом дроблении осуществляется избирательное дробление преимущественно по плоскостям спайности и трещинам в горной породе.

В настоящее время в США разработана и прошла промышленные испытания установка для электрогидравлического дробления. Дроблению подвергали базальт, гранит, кварцит, порфиновые руды и другие материалы крупностью 200–100 мм. Крупность готового продукта составляла 25,4–19 мм. Установка представляла собой барабан, заполненный водой, с вертикально установленным электродом (рис. 1). Материал, подвергающийся дроблению, находился на решетке, расположенной ниже возникновения электрического разряда.

При проведении полупромышленных испытаний определяли расход энергии на 1 т дробленого продукта (табл. 1), качество готового продукта (форму и ситовую характеристику), а также стоимость дробления (табл. 2).

Рис.1. Установка для электро-
гидравлического дробления:
1 - электрод; 2 - барабан; 3 -
уровень воды; 4 - исходный ма-
териал; 5 - решетка; 6 - место
разряда; 7 - труба для подачи
воды; 8 - дробленый продукт;
9 - высоковольтный генератор;
10 - конденсатор; 11 - вы-
ключатель



СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ

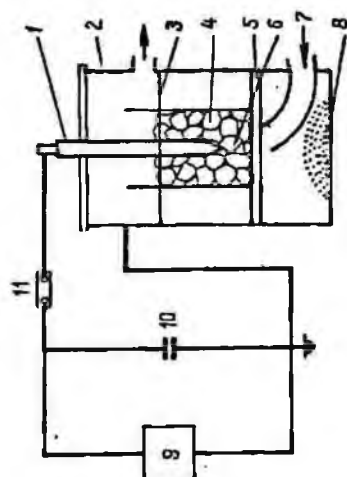
Проводимые за рубежом работы в области разработки специальных методов дробления сосредоточены в основном на совершенствовании открытого в 1905 г. немецким ученым Свеаборгом электрогидравлического эффекта и разработанного на его основе электрогидравлического метода дробления.

Сущность эффекта заключается в том, что при прохождении кратковременного электрического заряда через жидкость образуются ударные волны, под действием которых происходит разрушение материала, находящегося в ней. При электрогидравлическом дроблении осуществляется избирательное дробление преимущественно по плоскостям спайности и трещинам в горной породе.

В настоящее время в США разработана и прошла промышленные испытания установка для электрогидравлического дробления. Дроблению подвергали базальт, гранит, кварцит, порфиновые руды и другие материалы крупностью 200–100 мм. Крупность готового продукта составляла 25,4–19 мм. Установка представляла собой барабан, заполненный водой, с вертикально установленным электродом (рис. 1). Материал, подвергающийся дроблению, находился на решетке, расположенной ниже возникновения электрического разряда.

При проведении полупромышленных испытаний определяли расход энергии на 1 т дробленого продукта (табл. 1), качество готового продукта (форму и ситовую характеристику), а также стоимость дробления (табл. 2).

Рис.1. Установка для электро-
гидравлического дробления:
1 - электрод; 2 - барабан; 3 -
уровень воды; 4 - исходный ма-
териал; 5 - решетка; 6 - место
разряда; 7 - труба для подачи
воды; 8 - дробленый продукт;
9 - высоковольтный генератор;
10 - конденсатор; 11 - вы-
ключатель



Т а б л и ц а 1

Расход энергии при электрогидравлическом дроблении
различных горных пород

Исходный продукт	Крупность исходного продукта	Размер готово- го про- дукта, мм	Расход элект- роэнер- гии, квт.ч/т	Выход про- дукта, %	
				-19+9 мм	-9+ 6,3 мм
Базальт	-203+50,8	-25,4	2,5	-	-
	-102+50,8	-25,4	1,62	33	6
	-102+50,8	-19	4,1	40	22
	-102+50,8	-12,7	6,7	13	31
Гранит	-102+50,8	-19	4,7	46	21
Порфиновые руды	-150+50,8	-50,8	4,2	12	1,5
	-50,8	-19	6,7	41-56	26-
					20
Кварцит	-102+50,8	-19	5,4	55	18

Примечание. При обычном дроблении расход энергии составляет 2-4 квт.ч/т.

Т а б л и ц а 2

Стоимость дробления 1 т руды

Исходный продукт	Крупность исходного продукта, мм	Размер готово- го про- дукта, мм	Расход энергии, квт.ч/т	Стоимость 1 тыс.т при стоимости электроэнергии	
				5 пенс/квт.ч	7,5 пенс/квт.ч
Базальт	102	19	4,1	20,5	31
Базальт	205	12,7	7,4	37	55,5
Гранит	102	19	4,7	23,5	35,5
Порфи- ровые ру- ды	102	19	8,0	44,5	66,5

Исходный продукт	Крупность исходного продукта, мм	Размер готового продукта, мм	Расход энергии, кВт·ч/т	Стоимость 1 тыс.т при стоимости электроэнергии	
				5 пенс/кВт·ч	7,5 пенс/кВт·ч
Кварцит	102	19	5,4	27	40,5
Кварцевая руда	50,8	25,4	0,73	3,65	5,5

Примечание. При обычном дроблении стоимость составляет не более 15 пенсов за 1 т

Установлено, что при электрогидравлическом дроблении можно получить более равномерный по крупности продукт, чем при обычном дроблении, однако, как правило, расход электроэнергии больше и, следовательно, стоимость дробления выше [1].

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Совершенствование специальных методов измельчения за рубежом осуществляется главным образом за счет развития взрывных методов измельчения, основанных на распаде пород под действием внутренних сил растяжения при быстром снятии с них внешнего давления, а также вибрационного и центробежного методов измельчения.

Взрывной способ

Еще в 30-х годах исследователи Дин, Гросс и Вуд пробовали использовать энергию взрыва (сброса давления) для осуществления дезинтеграции материала, помещаемого в изолированную камеру. Процесс носил периодический характер и далее стадии лабораторных испытаний не продвинулся.

Не так давно в США была разработана конструкция быстродействующего клапана (время срабатывания 15 мсек), позволяющего вести процесс практически непрерывно (рис. 2).

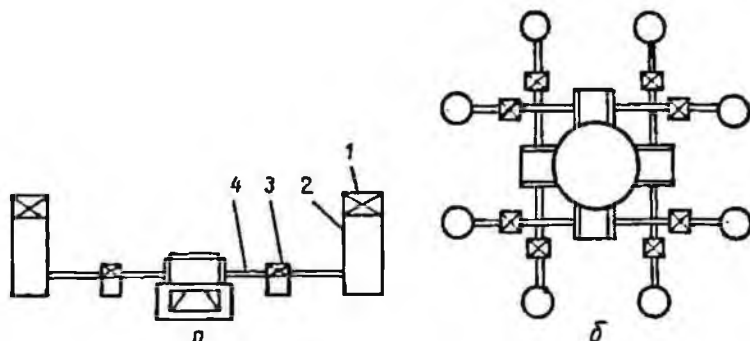


Рис.2. Схема установки Снайдер для взрывного метода измельчения:

- а — двухканальная установка;
 1 — загрузочный клапан; 2 — камера повышенного давления; 3 — быстродействующий клапан; 4 — обогреваемый канал;
 б — четырехканальная установка

Срок службы такого клапана — 550000 циклов, это равносильно безостановочной работе в течение более чем семи месяцев.

Принцип действия установки Снайдера следующий: материал, крупность которого в настоящее время ограничивается 50 мм, поступает в несколько спаренных камер, снабженных быстродействующими клапанами; туда же под давлением 5,6-52,7 кг/см² при температуре 450°C поступает энергоноситель. Энергоносителем может быть воздух, пар, инертные газы и т.д. Однако наибольшее распространение получил пар [2, 3].

Конструкция установки придает двухфазной системе "энергоноситель-материал" звуковые и сверхзвуковые скорости прохождения через клапан, разгонную трубу и насадку. При срабатывании клапанов происходит быстрое расширение сжимаемой рабочей смеси, что приводит к образованию ударных волн, передающихся от частицы к частице. Вследствие достаточно высокой плотности загрузки (коротких траекторий между отдельными частицами) происходит передача кинетической энергии от энергоносителя к частицам и их разрушение.

При снятии давления на частицы действуют растягивающие усилия. Наличие перепадов температур между внешними и внутренними слоями частиц усиливает вероятность разрушения при повторных столкновениях. Приобретаемый частицами запас кинетической энергии не расходуется полностью при их столкновениях. Движение частиц материала носит беспорядочный характер, что усиливает вероятность разрыва.

Фирма "Лоун Стар", владеющая патентом на процесс Снайдера, решила вопрос утилизации кинетической энергии, выходящей из камер рабочей смеси, направив эти потоки навстречу друг другу, т.е. обеспечив условия разрушения частиц при столкновении аналогично тому, как это решено в пароструйных мельницах.

В настоящее время лаборатория фирмы "Лоун Стар" в Брукфилде (США) проводит программу исследований с целью количественного определения влияния различных факторов на процесс разрушения материала в данной установке.

Лаборатория располагает несколькими установками "Снайдер" с различным объемом камер. Результаты сравнительных испытаний этих камер при измельчении известняка и медной руды приводятся в табл. 3.

На установке с объемом камер $0,013 \text{ м}^3$ в лаборатории проведено несколько тысяч циклов без каких-либо нарушений в ее работе. В настоящее время загрузка и разгрузка материала осуществляются вручную, но автоматизация этих процессов не представляет больших трудностей. При 80% загрузки камер обе камеры в сумме принимают 36,2 кг. Их расчетная производительность при

30-секундном цикле составляет 4,4 т/час. Однако на практике установка давала вдвое большую производительность.

Т а б л и ц а 3

Результаты сравнительных испытаний измельчения известняка и медной руды в установках "Снайдер" различного объема

Объем камер установки, м ³	Доломитовый известняк х)		Медная руда хх)	
	степень измельчения	содержание в продукте класса -100 меш, %	степень измельчения	содержание в продукте класса -100 меш, %
0,0014	2,11	27,6	2,41	32,4
0,013	1,87	21,1	2,30	33,5
0,013 (спаренная)	2,07	24,7	2,49	33,5
0,063	1,77	25,4	2,36	31,5

х) Содержание класса -100 меш в исходном питании - 1,1%.

хх) Содержание класса -100 меш в исходном питании - 13,0%.

При расчете на тех же условиях спаренная установка с объемом каждой камеры 0,184 м³ будет иметь производительность 51,7 т/час.

При эксплуатации производительность любой установки непосредственно зависит от условий измельчения (степени загрузки камеры, давления пара, требуемой конечной крупности продукта и др.).

Для определения оптимальных условий измельчения в лаборатории были проведены испытания при различном давлении пара и различной степени загрузки камеры материалом (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Зависимость степени измельчения от загрузки камеры
и давления пара

Параметры	Условия испытаний						
	степень загрузки 12%; давление пара, кг/см ²				давление пара 28 кг/см ² ; степень загрузки, %		
	7	14	21	28	25	37,5	50
Степень сокращения	1,11	1,51	1,82	2,75	1,71	1,66	1,34
Увеличение процентного содержания класса, % ^{х)} :							
-100 меш	7,0	15,1	20,2	24,1	18,0	15,6	11,1
-200 меш	7,4	13,7	18,0	20,7	16,1	14,3	11,4

х) Разность в процентном содержании этого класса в питании и в готовом продукте.

В настоящее время в Брукфилде проводятся испытания по применению данного процесса для измельчения пульп. Испытания пока не завершены, но имеющиеся данные говорят о том, что при содержании в пульпе твердого не менее 60%, степень сокращения остается практически такой же, как и при сухом измельчении.

Процесс Снайдера был испытан для различных типов руд нескольких месторождений.

Сравнительные испытания процесса Снайдера с обычным измельчением в шаровой мельнице были проведены на порфириновых медных рудах одного из юго-западных месторождений США. При этом при измельчении в установках "Снайдер" получен более высокий к.п.д. и более селективное раскрытие рудных минералов (табл.5).

Т а б л и ц а 5

Сравнение селективности раскрытия рудных минералов при измельчении в установках "Снайдер" и в шаровых мельницах

Раскрытый минерал	Процесс Снайдера, %	Шаровое измельчение, %
Халькопирит	85,15	84,84
Пирит	82,22	79,24
Присутствующие сульфидные минералы	84,26	83,33

В случае измельчения по методу Снайдера только в цикле основной флотации, концентрат, направляемый на доизмельчение, содержал 7,93% меди при выходе 6,76%, а в случае шарового измельчения — 6,66% меди при выходе 8,74%. Выход основного концентрата направляемого на доизмельчение уменьшился на 23%.

Кроме того с применением процесса Снайдера удалось добиться значительного сокращения потерь меди в хвостах основной флотации. Процесс Снайдера был испытан также на медно-никелевых рудах месторождения "Унгава". Испытанная руда содержала 6,2% меди и 2,8% никеля. Измельчение руды проводили параллельно в установке Снайдера с объемом камеры 0,13 м³ и в обычных шаровых мельницах. Измельченный продукт крупностью —65 меш направлялся на магнитную сепарацию. При последующей магнитной сепарации получаемый концентрат из материала, измельченного по методу Снайдера, содержал больше никеля.

Из сравнения результатов магнитной сепарации руды, измельченной по методу Снайдера и измельченной в обычной шаровой мельнице, следует, что в первом случае немагнитная фракция характеризуется лучшим раскрытием зерен пирротина и халькопирита (85% против 63,4%). В магнитной фракции продукта, измельченного по методу

Снайдера, содержалось 65,2% свободных зерен пирротина и халькопирита, против 55,6% при измельчении в шаровой мельнице [4].

При испытании установок Снайдера для измельчения медно-никелевой сульфидной руды в Канаде удалось повысить извлечение меди и никеля с 88 и 88% до 93 и 89%, соответственно.

При использовании процесса Снайдера для измельчения железной руды удалось снизить содержание кремния в готовом концентрате с 4 до 2% [2].

В табл. 6 приводятся данные о капитальных и эксплуатационных затратах на измельчение по методу Снайдера и на обычное измельчение.

Т а б л и ц а 6

Сравнение капитальных и эксплуатационных затрат при измельчении методом Снайдера и обычном измельчении

Производительность фабрики, тыс.т/сутки	Капитальные вложения, долл.		Эксплуатационные затраты, долл./т	
	процесс Снайде-ра	обычное измель-чение	процесс Снайде-ра	обычное измель-чение
Медная порфи-ровая руда, 10	2600000	3230000	0,33	0,43
Медная порфи-ровая руда, 25	6540000	97000000	0,26	0,38
Железная руда, 75	3000000	5000000	0,32	0,40
Железная маг-нетитовая руда, 21,8	61400000	62800000	1,25	1,39

Измельчение осуществлялось до 95% -65 меш.

Летом 1973 г. предполагается ввести в действие установки Снайдера производительностью:

1 т/час для канадского исследовательского центра;

10 т/час для обработки железной руды;
30-70 т/час для обработки известняков.

В настоящее время фирма "Лоун Стар" проектирует установку производительностью 800 т/час для измельчения руды крупностью 150 мм.

Наилучшие показатели процесса Снайдера достигнуты при обработке руд, не отличающихся большой вязкостью (упругостью) [4].

В США разработан метод взрывного измельчения, заключающийся в предварительном смачивании, нагреве и сжатии материала и последующем переводе его в камеру с пониженным давлением, в которой вся влага, находящаяся в порах и трещинах материала, превращаясь в газообразное состояние, производит взрывное разрушение материала (рис. 3).

Руда с помощью ленточного питателя загружается в приемную воронку 1, оборудованную двумя уровнемерами 2 и 3. Питатель приводится в действие автоматически. С помощью насоса 4 подается вода для дополнительного смачивания материала. Если содержание влаги в исходной руде достаточно, то добавочную воду не подают. Из приемной воронки через клапанный механизм материал поступает в камеру 5, также оборудованную двумя уровнемерами и двумя трубопроводами для подачи и отсоса воздуха. Давление в камере поддерживается в интервале 35-210 кг/см², температура 40-400°C.

Нагрев и сжатие материала осуществляется с помощью пара или инертного газа. Температуру и давление пара поддерживают с таким расчетом, чтобы вся влага проникла в поры и трещины кусков руды.

Затем материал проходит через камеру 6 и через наклонный трубопровод 7 попадает в камеру 9. Угол наклона трубопровода в пределах 30-80°. В трубопроводе расположена секция 8, которая служит для увеличения скорости движения материала. В зависимости от требований она может также служить либо для быстрого снижения давления, либо для охлаждения материала. В камере 9 поддерживается более низкое давление по сравнению с камерой 6 и трубопроводом 7 и вся влага, находящаяся в порах и трещинах материала, превращаясь в пар, произ-

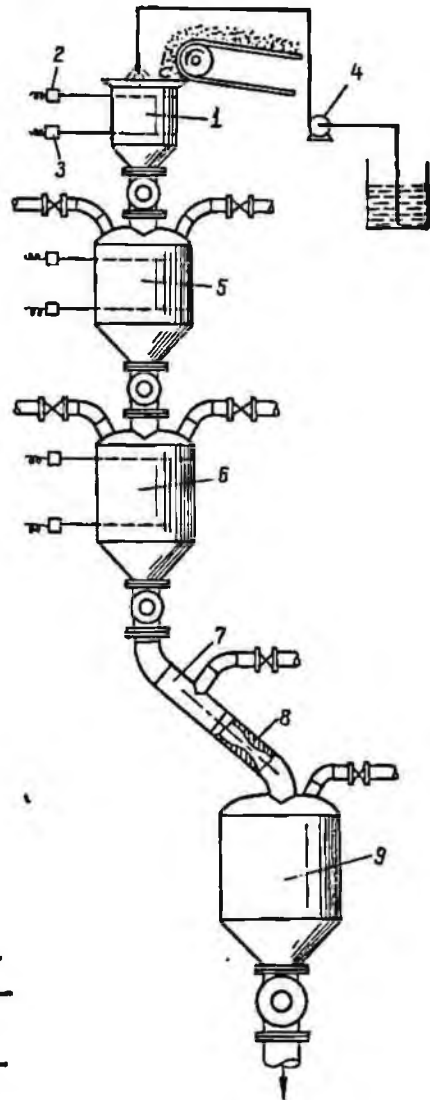


Рис.3. Установка для взрывного измельчения, запатентованная в США:

1 - приемная воронка; 2, 3 - уровнемеры; 4 - насос для подачи воды; 5 - камера высокого давления; 6 - промежуточная камера; 7 - наклонный трубопровод; 8 - специальная секция для повышения скорости движения материала; 9 - камера низкого давления

водит взрывное разрушение его. Конечная крупность готового продукта — 6–12 мм [5] .

В Австрии запатентован способ и устройство для измельчения твердых тел, отличительной особенностью которого является предварительный нагрев материала, способствующий испарению внутренней влаги и тем самым увеличению давления между плоскостями кристаллов.

Устройство для осуществления процесса состоит из загрузочной камеры цилиндрической формы с коническим днищем, соединенной с камерой низкого давления посредством трубопровода с быстродействующим клапаном (рис. 4).

К конической части загрузочной камеры примыкает паропровод высокого давления с регулировочным вентилем. Для предотвращения зависания материала в загрузочной камере установлена коническая призма на вертикальной штанге. Загрузочное отверстие камеры имеет герметический затвор.

Обрабатываемая руда поступает из загрузочной воронки 1 в камеру 2. После заполнения камеры рудой, закрывается затвор 3 и через специальный паропровод 4 вводится пар. Подача его продолжается до достижения определенного давления в камере. Для устранения конденсации пара, время подачи его должно быть минимальным. После прекращения подачи пара открывается быстродействующий клапан 5 и материал по трубопроводу 6 переходит в камеру 7, объем которой приблизительно в 50 раз больше, чем у камеры 2. Материал по касательной поступает в камеру 7 почти со скоростью звука. На внутренней поверхности стенки камеры установлена отражательная пластина 8, положение которой может изменяться.

При попадании в разреженное пространство камеры 7 пар начинает расширяться до максимального объема, вызывая расщепление материала. Разрушению частиц способствуют также ударные волны, возникающие в зоне взрыва, и столкновение частиц с отражательной пластиной.

Раздробленный материал падает в нижнюю часть камеры и по мере накопления удаляется через выпускное отверстие. Данный метод измельчения опробовался с различными типами руд. Установлено, что для фосфатных руд

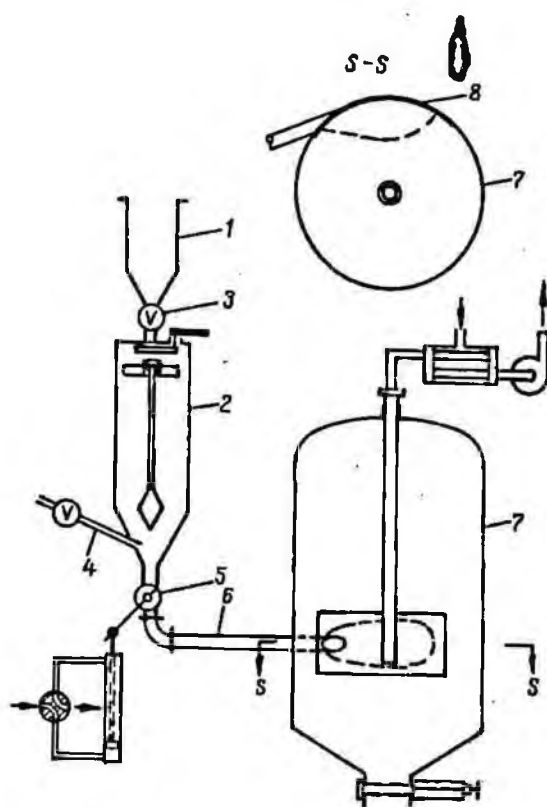


Рис.4. Установка для взрывного способа измельчения, запатентованного в Австрии:

- 1 - загрузочная воронка; 2 - камера для сжатия материала; 3 - затвор;
 4 - трубопровод для подачи пара; 5 - быстродействующий клапан; 6 - трубопровод;
 7 - камера пониженного давления; 8 - отражательная пластина

степень заполнения загрузочной камеры исходным материалом должна быть равна 0,8, время подачи пара - 10 сек, давление пара - 35 кг/см^2 , а давление в вакуумной камере - 635 мм рт.ст.

Для медной руды: степень заполнения камеры - 0,8, время подачи пара - 5 сек, давление пара - 60 кг/см^2 и давление в вакуумной камере - 635 мм рт.ст.

Длина трубопровода должна быть достаточной для обеспечения линейной возрастающей скорости движения частиц материала, а поперечное сечение его постепенно уменьшается к камере [6] .

Струйное измельчение

За рубежом продолжают уделять большое внимание методу струйного измельчения, однако на практике этот процесс применяют только в специальных случаях сверхтонкого измельчения некоторых материалов, требующих применения сухого измельчения.

Струйные мельницы наиболее эффективны при измельчении твердых материалов. Обработка эластичных и вязких материалов малоэффективна.

Измельчение в струйных аппаратах осуществляется следующим образом: предварительно измельченный материал крупностью до 30 мм загружается в неглубокую камеру круглого сечения (вертикальную или горизонтальную). По периметру камеры, касательно к окружности установлен ряд равномерно расположенных сопел (рис. 5). Газообразный агент (сжатый воздух при давлении $\sim 7,03 \text{ кг/см}^2$ или перегретый пар при давлении $7,03\text{--}14,6 \text{ кг/см}^2$ и температуре $205\text{--}538^\circ\text{C}$ подается через сопла, вызывая интенсивное уменьшение размеров частиц путем создания турбулентного потока и обусловленной им бомбардировки частиц друг другом. Образующаяся при этом внутри камеры центробежная сила разделяет частицы: более крупные скапливаются на периферии, а мелкие выносятся из камеры с потоком воздуха.

Струйные мельницы предназначены для измельчения материала крупностью не более 20 мк. Расход энергии на 1 т продукта выше чем в обычных мельницах, выдающих продукт крупностью до 44 мк.

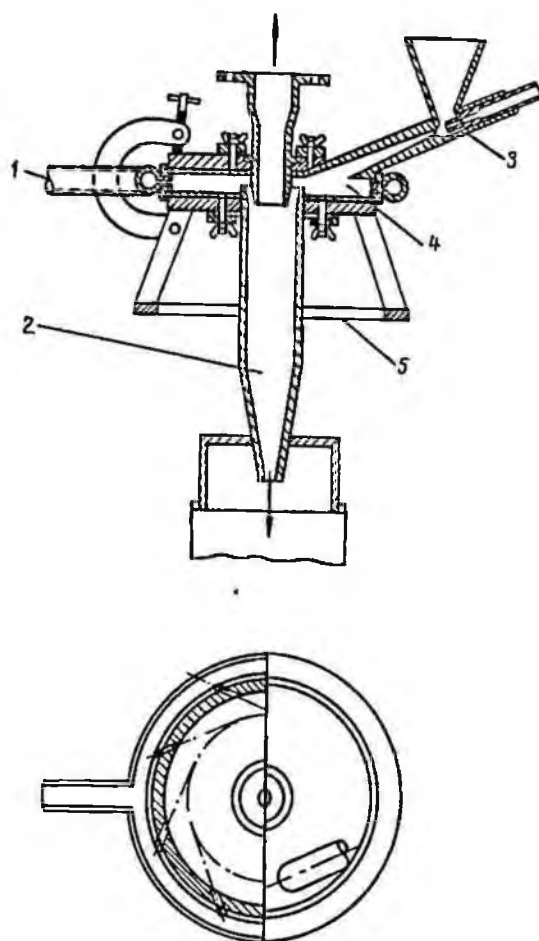


Рис.5. Схема струйного pulverизатора:
 1 - подача сжатого воздуха или перегретого пара; 2 - сборник готового продукта; 3 - инжектор для подачи исходного материала; 4 - камера измельчения;
 5 - основание мельницы

Другим видом струйного аппарата является мельница Уиллера, выполненная в виде вертикальной петли (рис. 6).

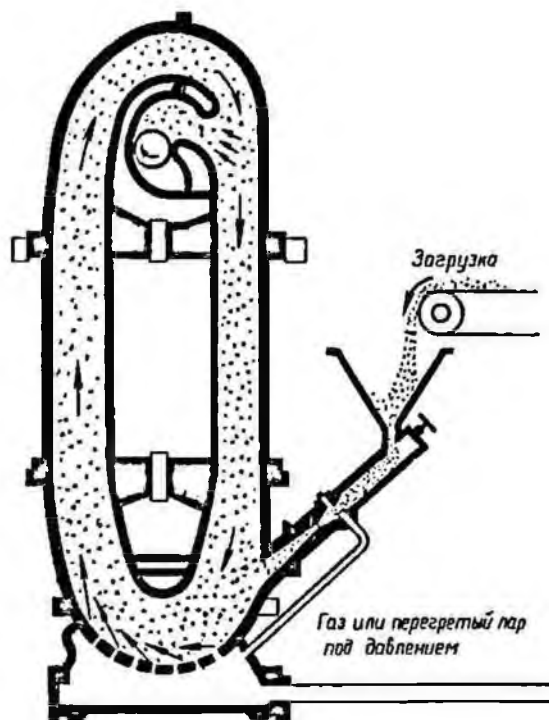


Рис. 6. Мельница Уиллера

Предварительно измельченный материал подается в нижнюю часть петли, в которой расположены сопла для подачи сжатого воздуха, или перегретого пара. Измельчение осуществляется за счет бомбардировки частиц материала друг другом, а сортировка обеспечивается установленными на внутренней стороне петли лопастями, расположенными в направлении потока [7] .

Вибрационное измельчение

За последнее время большое развитие получили вибрационные мельницы, преимущество которых по сравнению с обычными шаровыми проявляется при тонком и особенно при сверхтонком измельчении. Обычная крупность материала, подаваемого в вибромельницы, 2-3 мм и мельче. Крупность готового продукта измеряется микронами.

В США, ФРГ и Швеции машиностроительные фирмы разрабатывают и изготавливают вибрационные шаровые и стержневые мельницы, применяемые в промышленности для тонкого измельчения различного минерального сырья.

К последним моделям промышленных вибрационных мельниц, приспособленных для непрерывного поточного измельчения, относятся изготавливаемые в ФРГ фирмой "Гумбольдт" вибрационные мельницы типа "Палла-У" (рис. 7). Мельница состоит из двух труб, находящихся одна над другой и соединенных траверсами, которые приваривают к трубам или крепят болтами. Между трубами горизонтально расположен привод с дебалансами, соединенный с электродвигателем упругой муфтой.

Специальные резиновые прокладки предотвращают передачу вибраций мельницы на фундамент. Скорость вращения мельницы 1000 об/мин, амплитуда колебаний 10 мм. Габариты мельницы: диаметр труб 650 мм, длина 4300 мм, вес 20 т, потребляемая мощность при непрерывном измельчении 38 квт·ч. Трубы приблизительно на 70% заполняют мелющими телами. При непрерывном измельчении получается 37,5% продукта крупностью -42 мк, а при периодическом - 19%.

Сравнительные испытания вибромельницы и шаровой мельницы при работе на кварцевом песке показали, что при периодическом измельчении получают сравнимые результаты, а при непрерывном измельчении в вибромельнице материал получается более тонкий.

При крупном помоле измельчаемый материал поступает параллельно в обе трубы мельницы. Для более тонкого помола измельчаемый материал последовательно проходит из верхней трубы в нижнюю, которая заполнена

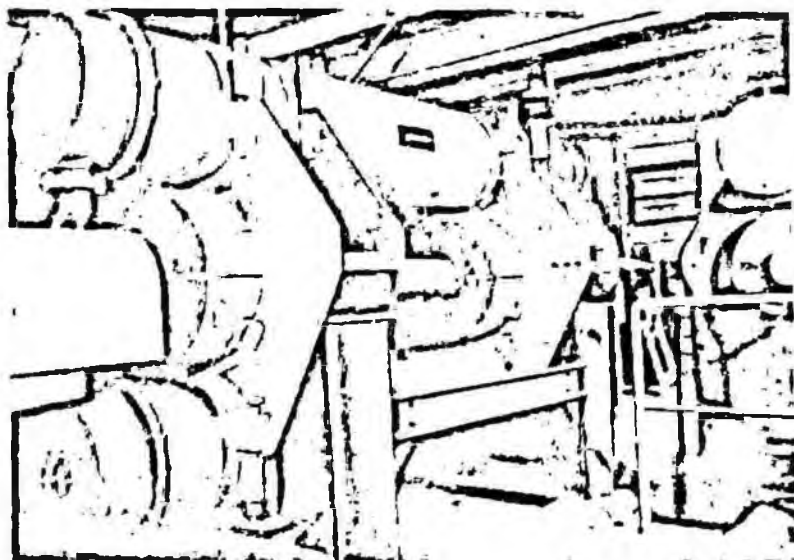


Рис.7. Вибрационная мельница "Палла-У"

шарами меньшего размера. Тангенциальная подача материала в трубы улучшает измельчение.

На примере кварцевого песка изучено влияние влажности исходного материала на измельчение: абсолютно сухие материалы из-за большой текучести измельчаются хуже материалов с влажностью 1%.

При измельчении известняка введение в камеру измельчения распыленной струи воды улучшает процесс. Крупность измельчаемого материала может достигать 48% класса -3 мк [8].

В настоящее время вибрационные мельницы типа "Палла-У" используют на золотоизвлекательной фабрике "Дурбан" (ЮАР). Расход электроэнергии на этой фабрике остался таким же, как и при обычном измельчении, но достигнута экономия измельчающей среды и снижен износ футеровки.

В Англии на обогатительной фабрике "Уил Джейн" вибрационные мельницы "Палла-У" установлены для доизмельчения грубых оловянных концентратов [9].

Двенадцать вибрационных мельниц "Палла-У" установлены на обогатительной фабрике в Виттенборне (ФРГ) для измельчения кварцевого песка. Исходный материал проходит вибрационный грохот, подается в печь для сушки и затем разгружается на главный конвейер, по обе стороны которого расположены вибрационные мельницы "Палла-У" (по шесть с каждой стороны). Питание мельниц осуществляется автоматически, через специальное устройство. Для подачи материала и разгрузки готового продукта используются короткие гибкие шланги, прикрепленные к вибрационным трубам. Шланги снабжены воздушонепроницаемыми уплотнениями для предотвращения пылеобразования и потерь материала. Измельченный продукт разгружается в трубопровод, расположенный ниже уровня конвейера и складывается в бункерах. Измельчающей средой служат шары из высокохромистого сплава, загружаемые в мельницы через специальное устройство в центре каждой трубы. Вместе с шарами загрузка мельницы составляет 65-70% от ее объема. На разгрузочном конце мельниц крепится решетка для удержания шаров при разгрузке измельченного продукта [10].

В последнее время фирма значительно усовершенствовала существующую конструкцию вибрационных мельниц. Новая мельница отличается от прежней центральным расположением вибратора (точно по линии тяжести труб). Мельницы изготавливаются двух-, четырех- или шеститрубными. Трубы устанавливаются симметрично на А-образной подставке, обеспечивающей прочность установки.

Техническая характеристика новых четырехтрубных мельниц фирмы "Тумбольдт" [11]

Размеры труб мельницы, мм	
диаметр	558,8
длина	2120
Мощность двигателя, квт	110
Количество оборотов двигателя	
в минуту	1000-1500

Производительность, т/час . . .	35-50
Габаритные размеры, мм	
длина	2830
ширина	3000
высота	2650

Фирмы "Невелл Данфорд" (США) и "Аульман унд Бекшульте" (ФРГ) изготавливают двухтрубные вибрационные мельницы "Аубема", четырех типоразмеров с размерами труб от 200х1500 до 600х3500 мм (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Технические характеристики мельниц "Аубема"

Параметры	Тип мельницы			
	3120/150	3130/200	3145/250	3160/350
Диаметр измельчающих труб, мм	200	300	450	600
Длина измельчающих труб, мм	1500	2000	2500	3500
Вес мельницы, кг	450	1400	3000	7500
Вес измельчающей среды, кг . . .	250	1000	2500	6000
Расход электроэнергии, кВт . .	4	15	30	75
Производительность, кг/час	50-200	100-800	500-2000	2000-4000

Мельницы предназначены для тонкого (до 5 мк) измельчения. Крупность исходного материала при грубом измельчении составляет 12 мм, при тонком - 5 мм. В качестве измельчающих тел применяют шары или стержни диаметром от 10 до 50 мм [12].

В США разработана вибрационная мельница, представляющая собой вертикальный или горизонтальный цилиндр,

заполненный на 80% от его объема измельчающими телами (рис. 8). Привод мельницы осуществляется от электродвигателя с двумя выходными концами вала, на каждом из которых имеется противовес.

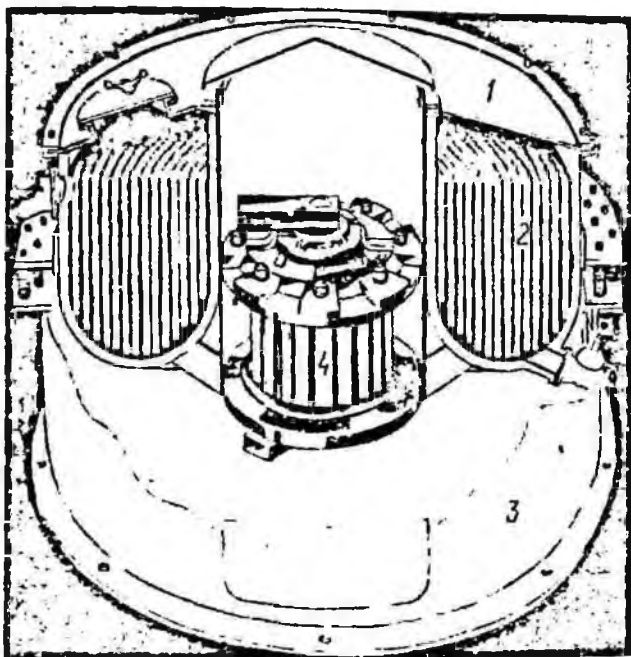


Рис.8. Вибрационная мельница, изготовленная в США:

1 - крышка мельницы; 2 - камера с измельчающими телами; 3 - основание мельницы; 4 - электродвигатель

При вибрации камеры измельчающая среда медленно вращается по кругу. В качестве измельчающей среды применяют тела из металлокерамического циркона и алюминия. Для прочных материалов применяют мелющие тела из стали или карбида вольфрама. Камера мельницы футеруется износостойчивой резиной или сталью. Мельницы

могут работать в условиях повышенного давления или вакуума, при нагреве или охлаждении [13] .

Центробежное измельчение

Фирмой "Бэбкок энд Уилкок" (США) разработана центробежно-шаровая мельница типа "Е", предназначенная для измельчения угля, известняка, фосфата, гипса, а также кварцевых золотосодержащих руд.

Измельчение материала в мельнице осуществляется полыми стальными шарами, движущимися в желобе между двумя кольцами (рис. 9).

Нижнее кольцо приводится в движение электродвигателем, а верхнее кольцо удерживается от вращения пневматическими цилиндрами, позволяющими ему в случае необходимости подниматься вверх. Шары во время движения постоянно меняют ось вращения, что обеспечивает их равномерный износ. Загрузка десяти шаров в мельницу обеспечивает минимальный расход энергии при высокой производительности.

Износ шаров при измельчении угля составляет 14-27 г/т измельченного угля (в барабанных мельницах он составляет 114-228 г/т). Замена изношенных шаров производится без удаления колец и занимает 8 часов. Кольца изготавливаются из чугуна "Нихард". Замена их занимает 24 часа.

Исходный материал поступает в мельницу по центральной питающей трубе и подвергается действию центробежных сил, создаваемых измельчающими элементами мельницы. Снизу в мельницу подается воздух, с помощью которого осуществляется первичная классификация материала. Мелкие частицы направляются в многолопастный классификатор циклонного типа, где производится вторая стадия классификации и выдается готовый продукт. Крупный материал возвращается на доизмельчение. При измельчении угля до крупности 70% класса -200 меш производительность мельницы составляет 4,3 т/час, мощность электродвигателя 37 квт.

Применение одной центробежно-шаровой мельницы типа "Е" вместо двух трубных на одной из цементных фаб-

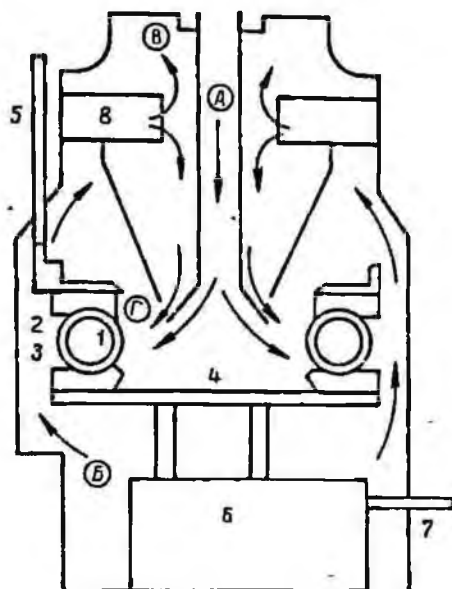


Рис.9. Центробежная мельница фирмы "Бэбкок энд Уилкокс":

1 - шары; 2 - верхнее кольцо; 3 - нижнее кольцо; 4 - опора; 5 - пневмоцилиндр; 6 - редуктор; 7 - приводной вал; А - подача питания в мельницу; Б - подача воздуха; В - выход готового продукта; Г - подача крупного материала из классификатора на доизмельчение

рик дало ежегодную экономию около 70000 долл. Недостатком мельницы является невозможность использования ее для высокоабразивных материалов [14] .

Южноафриканская горная исследовательская организация добилась значительного успеха в разработке конструкции центробежной или планетарной мельницы. После успешного испытания небольших лабораторных моделей был изготовлен образец мельницы диаметром 762 мм и

длиной 610 мм. Ожидаемая производительность образца аналогична производительности обычной мельницы размером 2440x4880 мм, соответственно, работающей по принципу рудного самоизмельчения. Основным преимуществом новой мельницы является уменьшение габаритов оборудования, что имеет важное значение при установке в подземных выработках при применении системы гидротранспорта руды из подземных выработок на поверхность [15]. При измельчении в центробежной мельнице стоимость расхода электроэнергии, ремонтных работ и обслуживания приблизительно в 2 раза меньше, чем при измельчении в трубной.

В ы в о д ы

1. В области разработки новых способов дробления работы сосредоточены на совершенствовании электрогидравлического метода. На основе работы полупромышленной установки показано, что при дроблении этим методом расход энергии на порядок выше, чем при обычном дроблении. Однако, электрогидравлическое дробление можно считать эффективным в тех случаях, когда требуется полное исключение загрязнения материала примесями железа, или высокая избирательность процесса с минимальным переизмельчением хрупких, легкошламующихся ценных компонентов.

2. В области измельчения наибольшее внимание уделяется разработке различных способов взрывного измельчения, из которых наибольший интерес представляет процесс Снайдера. Этот процесс испытан для различных типов руд в полупромышленных масштабах. Отмечается, что освоение промышленных установок производительностью 800 т/час для измельчения материала крупностью 150 мм позволит исключить третью стадию дробления и две стадии измельчения.

3. На зарубежных обогатительных фабриках получает распространение вибрационное измельчение в мельницах "Палла-У", изготавливаемых в ФРГ фирмой "Гумбольдт". Установка вибрационных мельниц на золотоизвлекательной фабрике "Дурбан" (ЮАР) позволила добиться значительной экономии измельчающей среды и уменьшения износа футеровки. Вибрационные мельницы "Палла-У" установлены также на фабрике "Уилл Джейн" в Великобритании, являющейся наиболее современной по применяемой технологии и оборудованию среди оловянных фабрик капиталистических стран.

4. За рубежом создано несколько видов струйных мельниц. Однако, струйное измельчение используется только для специальных случаев сверхтонкого измельчения неметаллических полезных ископаемых и в цветной металлургии не применяется.

5. Центробежное измельчение используется в основном для горнохимического сырья. В США и ЮАР проводятся работы по применению центробежных мельниц для кварцевых золотосодержащих руд. В ЮАР разработана и проходит промышленные испытания планетарная мельница, основным преимуществом которой являются ее небольшие размеры, что позволяет устанавливать ее в подземных горных выработках.

Л и т е р а т у р а

1. The Quarry Managers Journal, 1971, v. 55, N 8, pp. 261-269.
 2. Engineering and Mining Journal, 1972, N 12, pp. 11-13.
 3. Canadian Mining Journal, 1972, v. 93, N 11, pp. 30-31.
 4. "Applications of the Snyder process". Доклад на 9-ом. между-народном конгрессе по обогащению полезных ископаемых, апрель 1973 г., Лондон.
 5. Патент США, кл. 241-1 (B02c, I9/06, B02c I9/I8) № 3545683
 6. Патент Австрии, кл. 1a11 (B07b I3/00) № 288287.
 7. Engineering and Mining Journal, 1968, N 9, pp. 236-240.
 8. L'equiptment mecanique des chantiers, 1968, juillet, N 77, pp. 85-89.
 9. Metallurgical Reviews. Metals and Materials, 1971, N 5, p. 142.
 10. Rock Products, 1971, v. 74, N 9, pp. 78, 97, 98.
 11. Aufbereitungs-Technik, 1972, N 4, ss. 244-247.
 12. Bergbauwissenschaften, 1971, N 5, s. 176.
 13. Chemical Engineering, 1972, N 15, p. 341.
 14. World Mining, 1972, N 3, p. 156.
 15. Mining journal, 1970, v. 275, N 7045, p. 183.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Специальные методы дробления	4
Специальные методы измельчения	7
Взрывной способ	7
Струйное измельчение	18
Вибрационное измельчение	21
Центробежное измельчение	26
Выводы	29
Литература	31

Редактор В.Н.Розанов Технический редактор И.А.Соколова
Корректор О.В.Чжан

Подписано к печати 18/X 1973 г.

Формат 60х90 1/16 Объем 2,0 п.л. 1,3 уч.-изд.л. Изд.№2237
Т - 17308 Тираж 575 экз. Цена 13 коп. Заказ 910

Ротапринт института "Цветметинформация"

