

УДК 622.73.734

Разработка методики расчета рабочих параметров работы центробежных аппаратов измельчения многократного динамического воздействия

В.Р. Винокуров, А.И. Матвеев

Представлены результаты исследований частиц разной крепости и крупности на лабораторном центробежном стенде. Также приведены экспериментальные данные и теоретические расчеты разрушения частиц разной крупности и крепости. Значимость исследований заключается в определении рациональных параметров центробежных мельниц при измельчении частиц руды разной крепости и крупности. Методика особенно важна для проектирования центробежных измельчителей многократного ударного действия, предусматривающих наращивание энергии динамического воздействия в ходе измельчения.

Ключевые слова: измельчение, ударные установки, частицы, зависимость, разрушение.

The results of studies of particles with different strength and size on a laboratory centrifugal stand are presented. Experimental data and theoretical calculations of the particles destruction are also presented. The research is significant for the determination of centrifugal mills rational parameters for grinding ore particles of different strength and size. The method is particularly important for the design of centrifugal crushers of multiple percussion with dynamic impact energy increase during the grinding.

Key words: grinding, crushing machines, particles, dependence, destruction.

Исследования работы относятся к процессам рудоподготовки: дробления и измельчения. По эффективности дробления и возможности раскрытия полезных компонентов наиболее эффективным является разрушение пород ударным воздействием. Недостаточная эффективность работы существующих ударных установок заключается в том, что в них заложен механизм одно- и двухактного динамического воздействия на разрушаемые куски породы.

Для решения данной проблемы в лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН разработан и запатентован ряд новых центробежных аппаратов измельчения, разрушение породы в которых происходит за счет многократных динамических воздействий.

Разработанные измельчители отличаются конструкцией рабочих органов (активаторов): со ступенчатыми рабочими органами, дисковыми и конусными. Проведенными экспериментальными исследованиями по изучению кинематики движения и разрушения рудных кусков при многократных динамических воздействиях подтверждена эффективность работы разработанных измельчителей.

При использовании центробежных измельчителей многократного динамического воздействия часто возникает необходимость расчета рабочих параметров, который зависит от многих факторов и, прежде всего, от физико-механических свойств измельчаемых материалов.

Цель работы состоит в разработке методики расчета рабочих параметров работы центробежных аппаратов измельчения многократного динамического воздействия.

На лабораторном стенде (рис.1) с центробежным активатором и неподвижной отражающей

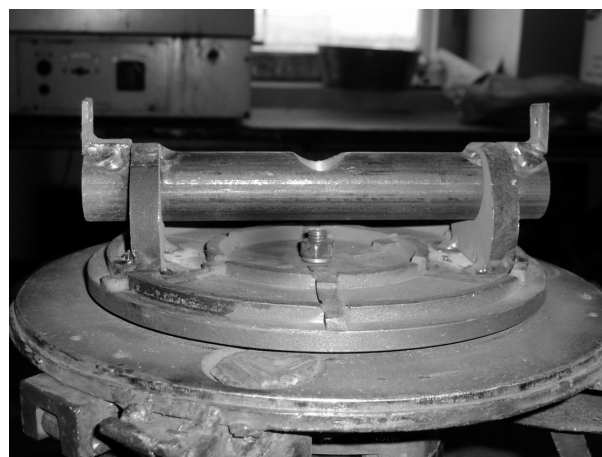


Рис.1. Общий вид лабораторного стенда с центробежным активатором

ВИНОКУРОВ Василий Романович – м.н.с. ИГДС СО РАН, vaviro@mail.ru; МАТВЕЕВ Андрей Иннокентьевич – д.т.н., с.н.с. ИГДС СО РАН, andrei.mati@yandex.ru.

стенкой экспериментально были получены зависимости вероятности разрушения частиц разной крупности и крепости от скорости столкновения.

Лабораторный стенд с центробежным активатором (рис.2) представляет собой полу металлическую трубу 2 с загрузочным отверстием 4 и заглушками 5, закрепленную на рабочем диске 1. В загрузочное отверстие 4 загружается частица геоматериала определенной крупности и крепости, при заданной скорости вращения рабочего диска 1 заглушки 5 автоматически открываются и частица, выбрасываясь под воздействием центробежной силы, испытывает удар о неподвижную броню.

За критерий разрушения единичного куска принято условие сокращения более чем в два раза, определяемое после динамического контакта. Для проведения экспериментальных работ отбирались рудные частицы с разной крепостью по шкале Протодьяконова и крупностью от 10 до 1 мм.

В табл. 1 приведены полученные критические скорости движения частиц (м/с) разной крупности и крепости на центробежном стенде, приводящие к разрушению частиц.

Исходя из экспериментальных данных, получены следующие зависимости разрушения частиц от крупности и крепости при разных скоростях столкновения с неподвижной стенкой (рис.3).

В табл. 2 представлена линейная зависимость $\ln(V)$ от крупности частиц.

Для удобства дальнейших расчетов по определению необходимой скорости столкновения для разрушения частиц разной крупности и крепости о неподвижную броню данная таблица с помощью макроса на языке VBA Excel была сведена к функции двух переменных (крупности и крепости)

$$V = \exp(a(f) + b(f)D).$$

Коэффициенты линейной регрессии a , b в макросе интерполировались от крепости линейно.

Макрос для ввода исходных данных представлен в виде: крупность – 3 мм, крепость – в ед., скорость – 34,63 м/с. Используя данный макрос, можно моделировать процесс последовательного разрушения частицы разной крепости и крупности от 10 до 1 мм.

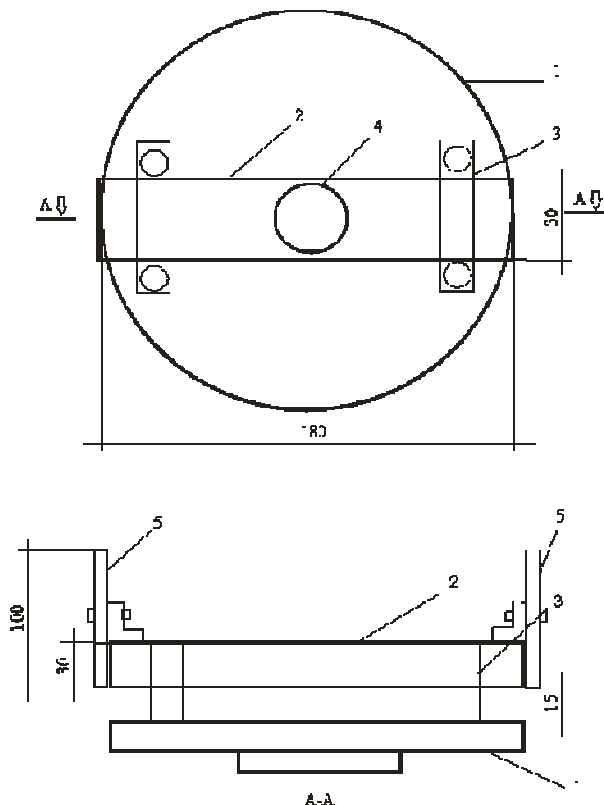


Рис.2. Лабораторный стенд с центробежным активатором в разрезе: 1 – рабочий диск; 2 – металлическая трубка; 3 – крепление; 4 – загрузочное отверстие; 5 – заглушки

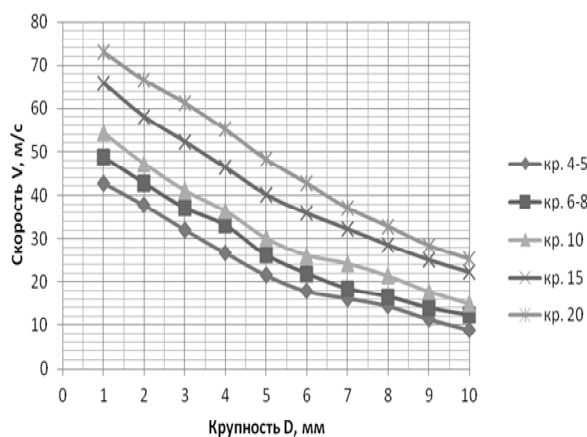


Рис. 3. Диаграмма разрушения частиц разной крупности и крепости от скорости столкновения

Т а б л и ц а 1

Результаты разрушения частиц разной крупности на центробежном лабораторном стенде

	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	6 мм	7 мм	8 мм	9 мм	10 мм
Средние породы, f–4	42,8	37,8	32,1	26,7	21,5	17,8	16,1	14,3	11,3	8,8
Довольно крепкие породы, f–6	48,8	42,8	37,2	33,1	26,2	21,9	18,4	16,5	13,9	12,2
Крепкие породы, f–10	54,3	47,2	41,1	36,4	30,1	26,1	24,2	21,3	17,7	14,8
Очень крепкие породы, f–15	65,8	58,1	52,3	46,3	40,2	35,9	32,3	28,6	25,1	22,3
В высшей степени крепкие породы, f–20	73,1	66,6	61,3	55,1	48,2	42,7	37,1	32,8	28,4	25,2

Например, для разрушения частиц крепостью $f=6$ (крепкие руды) крупностью от 3 до 1 мм необходимо обеспечить скорости воздействия на частицу: 30 м/с; 40 м/с; 50 м/с. Моделирование процесса последовательного разрушения частицы может быть использовано для расчета рабочих параметров работы рудоразмольных аппаратов.

Например, конструкция лабораторной центробежной трехступенчатой мельницы позволяет сообщать частицам разрушаемого материала многократные динамические воздействия за счет противонаправленных импульсов верхним и нижним рабочими органами, где относительная скорость динамического контакта частиц с поверхностью рабочих органов последовательно увеличивается. Конструкция мельницы позволяет регулировать процесс измельчения за счет изменения скоростей вращения верхнего и нижнего рабочих органов.

В табл. 3 приведен расчет относительной скорости динамического контакта в лабораторном центробежном измельчителе при частоте оборотов нижнего рабочего органа 5000 об./мин и верхнего рабочего органа 2000 об./мин. Это соотношение скоростей вращения (1:2,5) было ранее выявлено в ходе экспериментальных исследований и этот рабочий режим работы мельницы способствует максимальной эффективности измельчения для неоднородных руд при разной крепости.

В табл. 4 приведен расчет относительной скорости динамического контакта в лабораторном измельчителе, необходимый для измельчения частиц крепостью по шкале Протодяконова $f=8$. Для разрушения частиц такой крепости достаточно частота вращения верхнего рабочего органа 1500 об./мин и нижнего рабочего органа 4000 об./мин (1:2,8).

Таким образом, например при измельчении материала в трехступенчатом варианте центробежной мельницы (или в любой другой центробежной ударной установке), зная скорость удара, необходимую для разрушения частиц разной

Таблица 2

Линейная зависимость $\ln(V)$ от крупности частиц

Крепость частиц по шкале Протодяконова	Уравнение зависимости V от D $\ln(v)=a+bD$	Коэффициент корреляции
4	$\ln(V)=3,960758-0,17235D$	-0,99671719
6	$\ln(V)=4,074631-0,15973D$	-0,99790631
10	$\ln(V)=4,137875-0,14072D$	-0,99790165
15	$\ln(V)=4,307969-0,12015D$	-0,99977824
20	$\ln(V)=4,458416-0,12112D$	-0,99754558

Таблица 3

Расчет относительной скорости динамического контакта в лабораторном центробежном измельчителе при частоте оборотов нижнего рабочего органа 5000 об./мин и верхнего рабочего органа 2000 об./мин

Число ступеней N	$R_{\text{внутр}}, \text{ м}$	$V_{\text{внутр}}, \text{ м/с}$	$R_{\text{внешн}}, \text{ м}$	$V_{\text{внешн}}, \text{ м/с}$	$V_{\text{удара}}, \text{ м/с}$
1	0,05	26,1	0,06	12,5	38,6
2	0,07	36,6	0,08	16,7	53,3
3	0,09	47	0,1	20,9	67,9

Таблица 4

Расчет относительной скорости динамического контакта в лабораторном центробежном измельчителе при частоте оборотов нижнего рабочего органа 4000 об./мин и верхнего рабочего органа 1500 об./мин

Число ступеней N	$R_{\text{внутр}}, \text{ м}$	$V_{\text{внутр}}, \text{ м/с}$	$R_{\text{внешн}}, \text{ м}$	$V_{\text{внешн}}, \text{ м/с}$	$V_{\text{удара}}, \text{ м/с}$
1	0,05	20,9	0,06	9,4	30,3
2	0,07	29,3	0,08	12,5	41,8
3	0,09	37,6	0,1	15,7	53,3

крепости и крупности, можно рассчитывать рабочие режимы и параметры рудоразмольного оборудования.

Проведенные экспериментальные работы на трехступенчатом центробежном измельчителе показали хорошую сходимость с расчетными данными по этой методике.

Поступила в редакцию 18.01.2012