

УДК 622.73

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ ГЕОМАТЕРИАЛОВ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Винокуров В.Р.

ИГДС СО РАН имени Н.В. Черского, Республика Саха (Якутия) г. Якутск, проспект Ленина 43, E-mail: vaviro@mail.ru

Исследования данной работы относятся к процессам измельчения минерального сырья. По эффективности разрушения и по 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. При моделировании процессов последовательного разрушения кусковых геоматериалов в лабораторной центробежной ступенчатой мельнице последовательного многоактного динамического воздействия получена уточненная формула расчета скорости столкновения разрушаемых частиц с противоположно вращающимися рабочими органами. Практическая значимость результатов состоит в возможности вычисления скоростей движения разрушаемых частиц в рабочей камере ступенчатой мельницы при разных параметрах рабочих органов, что важно для разработки методики, позволяющей определять рациональные параметры центробежных мельниц многократного ударного действия.

Ключевые слова: скорость столкновения, частица, центробежная мельница, рабочий орган, многократное динамическое воздействие.

MODELLING OF PARTICLE DESTRUCTION GEOMATERIALS CENTRIFUGAL MILLS

Vinokurov V.R.

Laboratory Enrichment IGDS SB RAS behalf N.V. Cherskogo, The Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk Lenin Avenue 43, E-mail: vaviro@mail.ru

Studies of this work relate to processes of grinding minerals. By the efficiency of destruction and possible disclosing useful components, is most effective, the destruction of rock impact. Lack of efficiency of the existing drum kits is that they are based on one- and two-act mechanism of dynamic effects on breakable pieces of rock. When modeling processes consistent failure of geomaterials lump in the laboratory centrifugal mill speed serial mnogoaktnogo dynamic effects sharpen the formula for calculating the speed of collision of particles with destructible counter-rotating working bodies. The practical significance of the results is the ability to calculate speeds degradable particles in the chamber of the mill speed for different parameters of working bodies, which is important for the development of methodology to determine the rational parameters of centrifugal mills multiple percussion.

Keywords: collision velocity, particle centrifugal mill, working body, multiple dynamic impact.

Исследования данной работы относятся к процессам измельчения минерального сырья. По эффективности разрушения и по 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.

В работах [1-4] решаются задачи повышения технологической эффективности измельчения в центробежных ударных мельницах сухого измельчения геоматериалов, разработанных в ИГДС СО РАН за счет конструктивного решения в разработанных

мельницах, а так же за счет использования многократных динамических воздействий на разрушаемый материал.

Так же при проведении сравнительных лабораторных экспериментальных исследований по измельчению рудных геоматериалов в новых конструкциях центробежных мельниц с разными активаторами, было установлено; что наилучшие условия сообщения импульсов частицам для их эффективного разрушения достигаются при ступенчатой форме активатора.

При ступенчатой форме активатора достигаются необходимые условия для постоянного циркулирования частиц на уровне каждой ступени и компенсации потерь инерции частиц находящихся в процессе их взаимодействия друг с другом в режиме самоизмельчения в рабочей камере центробежной мельницы.

На рис. 1 показано образование циркулирующих потоков в рабочей камере ступенчатой мельницы. Предполагается, что циркулирующие потоки формируются на уровне каждой ступени рабочей камеры мельницы за счет противоположного вращения рабочих органов, вследствие чего измельчаемые частицы испытывают противонаправленные динамические воздействия.

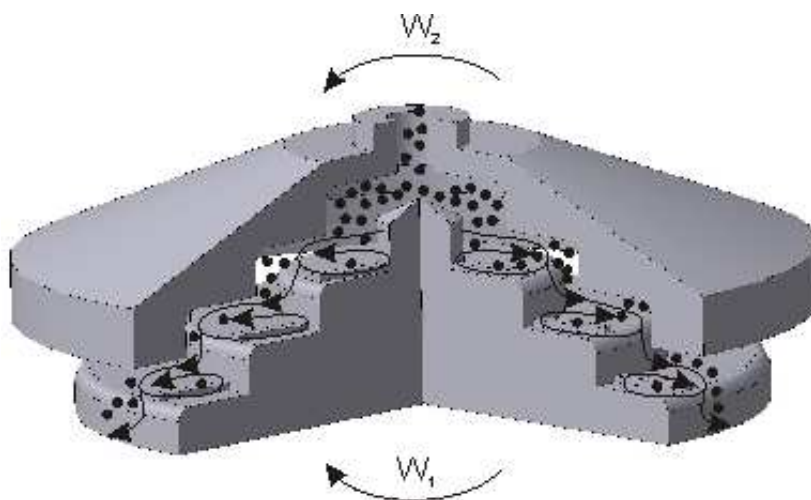


Рис.1. Рабочая камера центробежной мельницы
ЦМВУ-800 в разрезе

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

В работах [5-6] приведена разработанная методика, позволяющая определять оптимальные параметры центробежных мельниц и прогнозировать гранулометрический состав продуктов измельчения при заданной крупности и крепости исходного геоматериала,

а так же осуществлять упрощённый расчет скорости движения разрушаемой частицы в рабочей камере лабораторной центробежной ступенчатой мельницы.

В настоящее время разработана методика расчета скорости движения разрушаемой частицы развиваемой на момент столкновения с поверхностью рабочих органов в зависимости от параметров ступени трехступенчатой мельницы ударного действия. На рис.2 изображен вид сверху верхних ступеней противоположно вращающихся рабочих органов.

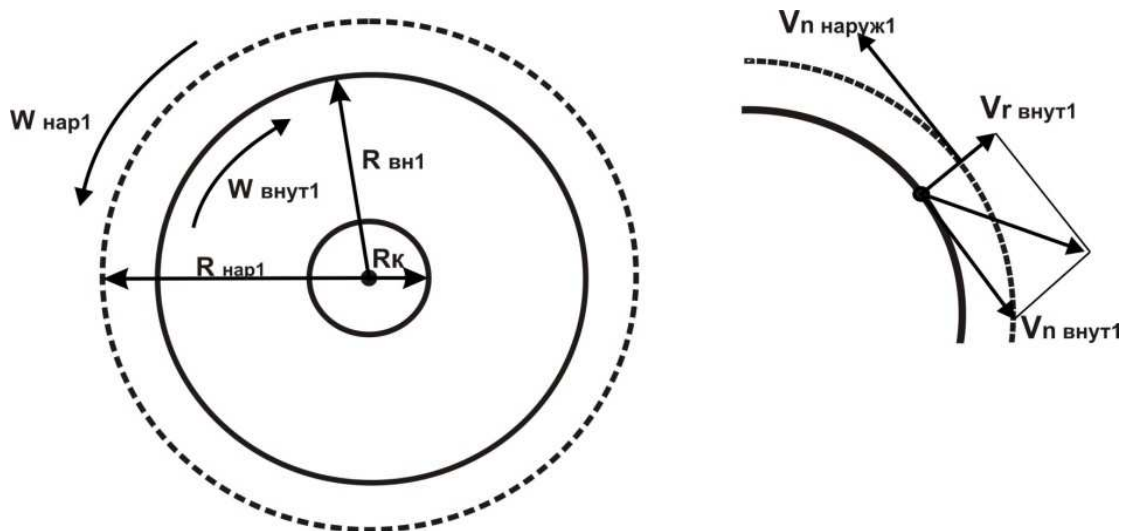


Рис. 2. Вид рабочих органов сверху

где R_k - радиус конического разбрасывателя; $R_{вн1}$ – первый радиус внутреннего ступенчатого диска; $R_{нар1}$ – первый радиус наружного ступенчатого диска; $W_{внут1}$ – угловая скорость внутреннего диска; $W_{нар1}$ – угловая скорость наружного диска; $V_{г\ внут.1}$ -скорость приобретенная за счет разгона вращения внутреннего диска; $V_{п\ наруж1}$ - тангенциальная скорость вращения наружного диска; $V_{п\ внут.1}$ – тангенциальная скорость вращения внутреннего диска.

В момент вылета с внутреннего диска у скорости частицы имеется две составляющие – скорость $v_{r\ вн1}$, приобретенная за счет разгона центробежной силы вращения диска, и направленная $v_{n\ вн1}(\omega_{вн}R_{вн1})$ по касательной к окружности диска (тангенциальная). К последней прибавляется скорость вращения наружного диска $v_{n\ нар1}(\omega_{нар}R_{нар1})$. Результирующая скорость, с которой частица сталкивается с внешним диском описывается выражением:

$$v = \sqrt{v_{r\ вн1}^2 + (v_{n\ вн1}^2 + v_{n\ нар1}^2)}, \quad (1)$$

где $v_{r\ вн1}$ – скорость приобретенная за счет разгона центробежной силой вращения внутреннего диска; $v_{n\ вн1}$ – тангенциальная скорость; $v_{n\ нар1}$ – скорость вращения наружного диска.

Тангенциальные скорости известны:

$$v_{n\ вн1} = \omega_{вн}R_{вн1} \quad \text{и} \quad v_{n\ нар1} = \omega_{нар}R_{нар1}. \quad (2)$$

Центростремительное ускорение, разгоняющее частицу на внутреннем диске:

$$a = \omega_{\text{вн}}^2 r. \quad (3)$$

Т.е. зависит от положения точки (расстояния до центра вращения)

Т.к. $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$, то получаем уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \omega_{\text{вн}}^2 r \text{ его решение } r(t) = C_1 e^{\omega_{\text{вн}} t} + C_2 e^{-\omega_{\text{вн}} t}. \quad (4)$$

При начальных условиях $r=R_0$ $t=0$, $v=0$:

$$r(t) = \frac{R_0}{2} e^{\omega_{\text{вн}} t} + \frac{R_0}{2} e^{-\omega_{\text{вн}} t}, \quad (5)$$

Время за которое частица доберется до края R_1 диска t_1 :

$$R_1 = \frac{R_0}{2} e^{\omega_{\text{вн}} t_1} + \frac{R_0}{2} e^{-\omega_{\text{вн}} t_1}, \quad (6)$$

$$t_1 = \frac{\ln\left(\frac{R_1 \pm \sqrt{R_1^2 - R_0^2}}{R_0}\right)}{\omega_{\text{вн}}}, \quad (7)$$

Радиальная скорость точки в момент отрыва с диска:

$$v_{r \text{ вн } 1} = \frac{dr}{dt} = \frac{R_0}{2} \omega e^{\omega_{\text{вн}} t_1} - \frac{R_0}{2} \omega e^{-\omega_{\text{вн}} t_1}, \quad (8)$$

Результирующая скорость удара частицы о стенку внешнего диска:

$$v = \sqrt{\left(\frac{R_k}{2} \omega e^{\omega_{\text{вн}} t_1} - \frac{R_k}{2} \omega e^{-\omega_{\text{вн}} t_1}\right)^2 + (\omega_{\text{вн}} R_{\text{вн } 1} + \omega_{\text{нар}} R_{\text{нар } 1})^2}. \quad (9)$$

После удара частица падает вниз и на следующей ступени процесс повторяется, производятся те же самые вычисления, но с другими индексами в радиусах.

Результаты вычислений по сравнению с простым способом определения движения частицы в трехступенчатом варианте мельницы приведены в таблице 1 при частоте оборотов внутреннего рабочего органа 5000 об/мин и внешнего 2000 об/мин. Это наиболее выгодное соотношение скоростей вращения верхнего рабочего органа к нижнему (1:2,5) было ранее выявлено экспериментальным путем.

Используя полученные формулы можно вычислять скорости движения разрушаемых частиц в рабочей камере ступенчатой мельницы при разных параметрах рабочих органов, что важно для разработки методики, позволяющей определять рациональные параметры центробежных мельниц многократного ударного действия.

Таблица 1

Результаты расчета скорости столкновения частицы с рабочими органами центробежной ступенчатой мельницы

Число ступеней	$R_{\text{внутр.}}$	$R_{\text{внешн.}}$	Радиальная скорость,	Тангенциальные скорости	Упрощенный расчет	Уточнённый расчет
----------------	---------------------	---------------------	----------------------	-------------------------	-------------------	-------------------

N	м	м	$v_{r_{вн1}}$, м/с	Внутреннего раб. органа $v_{вн1}$, м/с	Наружного раб. органа $v_{нар1}$, м/с	скорости, $V_{удара} = V_{внутр.} + V_{внешн}$ м/с	скорости $V_{удара}$, м/с
1	0,05	0,06	26,13	26,18	12,56	38,6	46,7
2	0,07	0,08	25,65	36,65	16,75	53,3	59,2
3	0,09	0,1	29,62	47,12	20,94	67,9	74,2

По полученным результатам расчетов видно, что в ступенчатом измельчителе происходит возрастание скоростей динамических контактов разрушаемых частиц. Т.е. благодаря конструкции центробежного активатора в одной рабочей камере измельчителя последовательно происходит возрастание скоростей динамических контактов разрушаемых частиц, при этом имеется возможность за счет варьирования частоты оборотов рабочих органов, радиуса ступеней подбирать различные величины скоростей динамических контактов для эффективного и рационального разрушения геоматериалов в зависимости от их физико-механических свойств.

Список литературы

1. Винокуров В.Р. Испытания центробежных измельчителей с разной формой активаторов // Горн. информ.-аналит. бюллетень. 2008. отдельный выпуск 2. Якутия-1. С.193-196.
2. Матвеев А.И., Винокуров В.Р. Влияние циркулирующих потоков на эффективность измельчения в центробежной мельнице со ступенчатыми рабочими органами// Сборник трудов международной научно-технической конференции "Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья". Екатеринбург 2009.- С. 99-101
3. Матвеев А.И., Винокуров В.Р. Конструктивные особенности центробежной мельницы ЦМБУ-800 // Горный инф-аналит. бюлл. 2010. №2 С.30-32.
4. Матвеев А.И., Винокуров В.Р. Особенности измельчения геоматериалов в центробежных аппаратах многократного динамического воздействия // Горн. информ.-аналит. бюл. 2011. № 11 С. 200 - 204.
5. Матвеев А.И., Винокуров В.Р., Д.А. Осипов Исследование половинчатого разрушения частиц на лабораторном центробежном стенде // Международная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов» г. Хабаровск. 2008 С.33-35.
6. Матвеев А.И., Винокуров В.Р. Разработка методики расчета рабочих параметров работы центробежных аппаратов измельчения многократного динамического воздействия // Наука и образование.- 2012.- №1. – С. 32-35.

Рецензенты:

Матвеев А.И., д.т.н., Старший научный сотрудник лаборатории ОПИ, Заведующий лабораторией ОПИ ИГДС СО РАН имени Н.В. Черского, г. Якутск;

Хохолов Ю.А., д.т.н., старший научный сотрудник лаборатории ГТФ ИГДС СО РАН имени Н.В. Черского, г. Якутск.