

Многостадийное измельчение в барабанных мельницах на основе концепции энергетической селективности диспергирования

Науменко Ю.В.

Национальный университет водного хозяйства
и природопользования, г. Ровно

Радикально повысить чрезвычайно низкую эффективность измельчения в традиционных барабанных мельницах можно лишь на основе принципа энергетической селективности измельчения.

Исследования показали, что реальным режимом движения загрузки является трехфазный «смешанный» (рис. 1), в котором, кроме твердотельной I и зоны несвободного падения II, возникает третья зона сдвигового слоя III. Установлено, что, с целью повышения эффективности процесса, целесообразно грубое измельчение крупных частиц осуществлять преимущественно ударным действием, а тонкое измельчение малых частиц – стиранием и раздавливанием.

Цель исследования - определение условий повышения энергетической эффективности внешнекамерного многостадийного помола.

Процесс измельчения ударным действием осуществляется на границе зон II и III [1]. Основной процесс измельчения стирающим действием осуществляется в верхней части зоны III в сдвиговом потоке, а раздавливанием – в нижней части этой зоны при замедлении потока. В нижней части зоны I может происходить измельчение частичным раздавливанием (рис. 1).

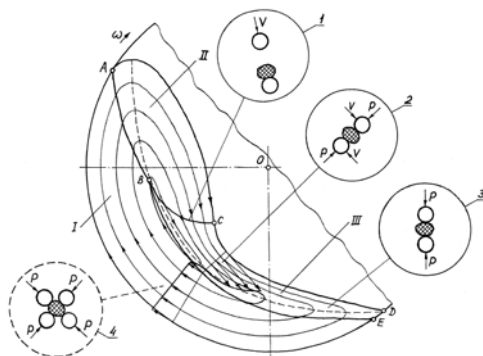


Рис. 1. Реализация способов измельчения в барабанной мельнице

Влияние режимов движения загрузки на процесс помола оценивался безразмерными механическими характеристиками (табл.), где m , m_6 и m_3 – масса загрузки, баллистической II и сдвиговой III ее зон, кг; t_u – длительность цикла движения загрузки, с; ω – угловая скорость, 1/с; R – радиус камеры, м; g – гравитационное ускорение, м/с²; V_{6c} – средняя скорость на границе II и III зон, м/с; V_{3c} – средняя сдвиговая скорость нормального сечения в верхней части III зоны, м/с; V_{3max} – максимальная сдвиговая скорость на свободной поверхности сдвигового слоя, м/с; V_0 – скорость опорной поверхности сдвигового слоя, м/с; h – толщина сдвигового слоя, м; W – мнимое суммарное вертикальное ускорение сдвигового слоя м/с²; M – действительный момент сопротивления, Нм; $M_{0,5max}$ – условный максимальный момент сопротивления при половинном заполнении, Нм.

Таблица. Механические характеристики движения внутрикамерной загрузки

Название	Обозн.	Математическое выражение	Характеризуемые параметры	Тип
1	2	3	4	5
Степень баллистической активации	K_{6a}	m_6 / m	Измельчение ударным действием	Массовый
Степень сдвиговой активации	K_{3a}	m_3 / m	Измельчение истиранием	Массовый
Степень присоединения	$K_{п}$	$\frac{m - m_6 - m_3}{m}$	Измельчение раздавливанием	Массовый
Оборачиваемость	K_o	$2 \cdot \pi / (t_u \cdot \omega)$	Производительность	Кинематический
Форсирование баллистической скорости	$K_{ф6}$	$\frac{V_{6c}}{\sqrt{R \cdot g}}$	Измельчение ударным действием	Скоростной
Форсирование сдвиговой скорости	$K_{ф3}$	$\frac{V_{3c}}{\sqrt{R \cdot g}}$	Измельчение раздавливанием	Скоростной
Градиент сдвиговой скорости	$K_{г}$	$\frac{V_{3max} + V_0 }{h} \cdot \sqrt{\frac{R}{g}}$	Измельчение истиранием	Кинематический

1	2	3	4	5
Удельная энергия баллистической массы	E_b	$\frac{V_{bc}^2}{R \cdot g}$	Измельчение ударным действием	Энергетический
Удельная энергия сдвигового слоя	E_s	$\frac{V_{zc}^2}{R \cdot g}$	Измельчение раздавливанием	Энергетический
Температура среды сдвигового слоя	T	$\left(\frac{V_{z \max} + V_0 }{h} \right)^2 \cdot \frac{R}{g}$	Измельчение истированием	Энергетический
Динамичность активации	K_d	W/g	Измельчение истированием	Динамический
Относительный момент	$\psi_{M0,5}$	$\frac{M}{M_{0,5 \max}}$	Измельчение ударным действием	Силовой
Относительная мощность	$\psi_{N0,5}$	$\frac{M \cdot \omega}{M_{0,5 \max} \sqrt{g/R}}$	Производительность	Энергетический
Число Фруда	Fr	$\frac{\omega^2 \cdot R}{g}$	Измельчение раздавливанием	Динамический

Численное определение характеристик осуществлялось методом визуального анализа картин движения загрузки, полученных цифровой фотосъемкой.

Для оценки эффективности измельчения при ударном, стирающем и раздавливающем действии мелющих тел на частицы измельчаемого материала были использованы зависимости комплексных параметров загрузки от относительной скорости вращения ψ_ω (рис. 2), где d – средний размер мелющих тел, D – диаметр камеры барабана, κ – степень заполнения камеры загрузкой. Рациональные режимы выделены штриховкой.

Установлено, что рациональными значениями параметров реализации первой стадии грубого измельчения являются – $\psi_\omega=0,85-1,05$, $\kappa = 0,45$, $d/D = 0,015-0,04$, а последней стадии тонкого измельчения – $\psi_\omega = 0,25-0,45$, $\kappa = 0,25$, $d/D = 0,002-0,01$ [2, 3] (рис. 3).

Эффективность многостадийного измельчения была оценена экспериментально. Производительность помола определялась за

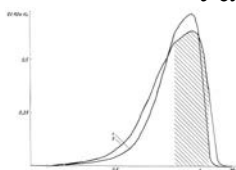
значением просева через контрольное сито № 008, а энергетическая эффективность – за удельными затратами энергии при получении этого просева. Численное значение изменения производительности оценивалось соотношениями Π_M/Π_T , где Π_M и Π_T – производительность помола для модернизированного и традиционного режимов, а изменения удельных затрат энергии – соотношениями $E_M/E_T=(N_M/\Pi_M)/(N_T/\Pi_T)$, где E_M и E_T – удельные затраты энергии, N_M и N_T – мощности привода для этих режимов.

Ударное действие
($d/D=0,022$,
волнистая камера)

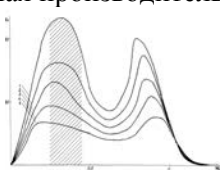
Истирание
($d/D=0,0024$, гладкая камера)

Раздавливание

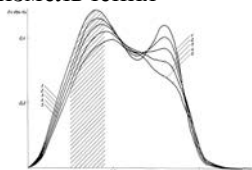
Условная производительность измельчения



Зависимости
 $E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0$ от ψ_ω

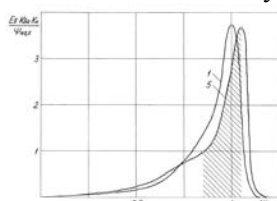


Зависимости $T \cdot K_{3a} \cdot K_0$
от ψ_ω

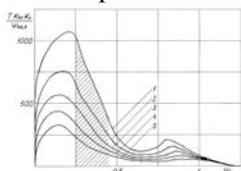


Зависимости
 $E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0$ от ψ_ω

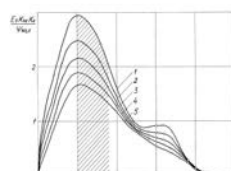
Условная удельная производительность измельчения



$(E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0)/\psi_{N0.5}$ от ψ_ω

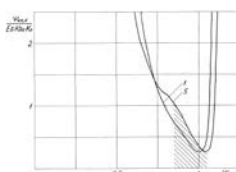


$(T \cdot K_{3a} \cdot K_0)/\psi_{N0.5}$ от ψ_ω

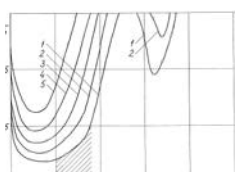


$(E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0)/\psi_{N0.5}$ от ψ_ω

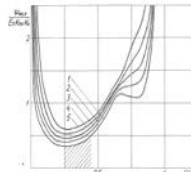
Условная удельная энергоёмкость измельчения



$\psi_{N0.5}/(E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0)$ от ψ_ω



$\psi_{N0.5}/(T \cdot K_{3a} \cdot K_0)$ от ψ_ω



$\psi_{N0.5}/(E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0)$ от ψ_ω

Рис. 2. Комплексные характеристики для оценки эффективности помола для
1 – $\kappa=0,25$, 2 – $\kappa=0,3$, 3 – $\kappa=0,35$, 4 – $\kappa=0,4$; 5 – $\kappa=0,45$.



Рис. 3. Картины движения загрузки при двухстадийном измельчении: а – предварительный грубый помол, б – окончательный тонкий помол.

Моделирование первой стадии грубого помола реализовывалось при $d/D = 0,02$, $\kappa = 0,45$, степени заполнения частицами измельчаемого материала промежутков между мелющими телами $\kappa_{мп} = 0,75$ и 1 , $\psi_{\omega} = 0,95$. Моделирование последней стадии тонкого помола – при $d/D = 0,022$, $\kappa = 0,25$, $\kappa_{мп} = 0,25$ и $0,5$, $\psi_{\omega} = 0,35$. Для традиционного режима принималось $\psi_{\omega} = 0,75$. Длительность измельчения составляла 30 минут. Результаты приведены на рис. 4.

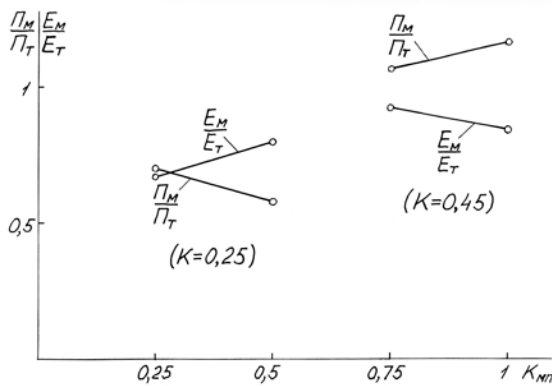


Рис. 4. Зависимости P_M/P_T и E_M/E_T для различных κ от $\kappa_{мп}$

Таким образом, по сравнению с традиционным одностадийным процессом помола, применение предложенной первой стадии грубого измельчения повышает производительность на 7-17% и снижает удельные затраты энергии на 7-15%. Применение же последней стадии тонкого измельчения, при уменьшении производительности на 30-42%, снижает удельные затраты энергии на 20-33 %.

Литература

1. Науменко Ю. В. Основи теорії режимів роботи барабанних млинів: Монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне : Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 282 с.
2. Рекомендації до розрахунку, проєктування та експлуатації барабанних млинів багатостадійного подрібнення / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 88 с.
3. Спосіб багатостадійного подрібнення в барабанному млині: Пат. 58177U України, МПК В 02 С 17/00 / Науменко Ю.В. – № u201009043; Заяв. 19.07.10; Опубл. 11.04.11, Бюл. № 7. – 8 с.

УДК 622.277

Моделирование процесса подземного выщелачивания сульфидной меди

Козяр В.А., Маланчук Е.З.

Национальный университет водного хозяйства
и природопользования, г. Ровно

Ежегодные потребности Украины в меди составляют примерно 160...175 тыс. т, из которых 20 % обеспечиваются собственным медным ломом, а остальное, в виде черновой меди, приходится завозить из соседних стран – России и Польши. Высокая ценность и большой интерес к меди связаны с уникальным сочетанием физических свойств, что обеспечивает ей широкое использование.

В Украине медь не добывается – ведутся только геологоразведочные работы, которые показали, что ее запасы в недрах государства позволяют вести предпромышленную подготовку. Разведанное ровенскими геологами во Владимирецком районе Ровенской области месторождение сульфидной меди с промышленным содержанием полезного компонента до 0,445% невозможно разрабатывать карьерным или шахтным методами из-за сложных горно-геологических условий: чрезвычайно интенсивная водоносность продуктивных отложений, а также перекрывающих и подстилающих пород [1].