

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕЛЬНИЦ С ВНЕШНЕЙ ОБКАТКОЙ

Influence of various parameters on efficiency of crushing in a planetary mill is investigated and their optimum value is established. Recommendations on exploitation of the given type grinding equipment are given.

Планетарные мельницы относятся к мельницам барабанного типа. Конструктивно их различают с вертикальной и горизонтальной осью, с внутренней и внешней обкаткой помольных барабанов. Теоретических исследований по изучению данного типа мельниц было проведено немало [1–4], однако четких рекомендаций по выбору оптимальных параметров при эксплуатации данного типа помольного оборудования на сегодняшний день не существует.

Поэтому целью нашей работы было установление зависимости эффективности помола от таких параметров, как угловая скорость вращения барабанов, время помола, твердость материала, соотношение массы мелющих тел и массы измельчаемого материала, степень загрузки, диаметр мелющих тел.

Ранее нами были проведены теоретические исследования данного типа мельниц [5–7], основными результатами которых являются: установление условий отрыва мелющего тела от стенки барабана, траектории его движения после отрыва и высоты падения, определение граничных угловых скоростей между каскадным, водопадным и центрифугальным режимами работы, получение формул для нахождения величин всех сил, действующих на мелющую загрузку, описание характера движения и воздействия последней на измельчаемый материал. Вышеперечисленные параметры позволили определить основные кинематические и динамические характеристики планетарных мельниц.

Так, в частности, для внешней обкатки помольных барабанов условие отрыва мелющих тел можно определить по следующей формуле [7]:

$$N_{\text{отн}} = \Omega^2 \cdot R \cdot (1+k) \times$$

$$\times \left[\frac{(1+k) \cdot b}{k} + \cos\left(\frac{\varphi}{k}\right) \right] - g \cdot \sin\left(\frac{1+k}{k} \varphi\right) \leq 0, (1)$$

где Ω – угловая скорость водила, рад/с;

R – радиус неподвижной кольцевой поверхности, м;

k – геометрический критерий, $k = r_B/R$;

r_B – радиус барабана, м;

b – геометрический критерий, $b = r_B/r$;

r – радиус приводного колеса, м;

φ – угол поворота водила, рад;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Формула граничной угловой скорости ω между водопадным и центрифугальным режимами движения загрузки имеет вид [7]:

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cdot (1+k)}{k \cdot R \cdot [b \cdot (1+k) - k]}}. (2)$$

Экспериментальные исследования по определению эффективности помола проводились на планетарной мельнице с горизонтальной осью вращения и внешней обкаткой помольных барабанов. При этом в качестве рабочего был выбран водопадный режим движения загрузки, являющийся одним из наиболее эффективных для данного типа мельниц. У исследуемой мельницы диаметр барабана составляет 100 мм, длина – 200 мм, соотношение угловых скоростей вращения барабана и водила равно 3,08. Величина граничной угловой скорости между водопадным и центрифугальным режимами движения загрузки определялась по (2) и составила 14,8 рад/с.

За эффективность процесса измельчения нами была принята доля материала E , прошедшего через сито с размером ячейки 90 мкм, которая определялась с помощью ситового анализа.

$$E = 100 - R_{90}, (3)$$

где R_{90} – остаток на сите с размером ячейки 90 мкм, %.

В качестве основного измельчаемого материала был принят гипсовый камень, степень загрузки барабана мелющими телами составляла 42% от его объема (2,7 кг шаров $\varnothing 16,5$ мм), время измельчения – 10 мин.

Первым этапом нашей работы было установление зависимости эффективности процесса помола от частоты вращения барабанов (рис. 1). Анализируя этот график, можно сделать вывод, что оптимальная угловая скорость находится в диапазоне, ниже значение которого определяется по формуле (2), а верхнее – на 20% больше предыдущего. То есть величина данного параметра примерно такая же, как и у барабанных мельниц [8–9].

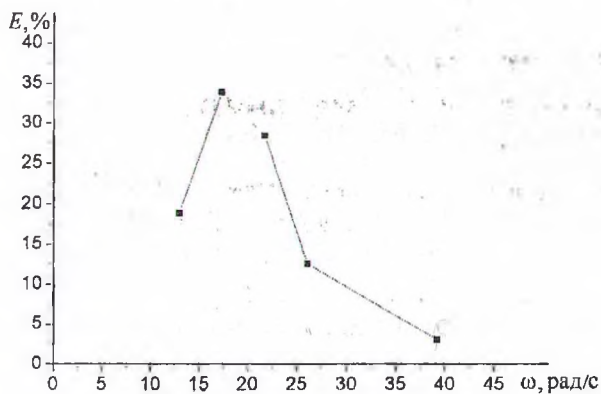


Рис. 1

Затем было исследовано влияние времени помола t и твердости материала на эффективность измельчения (рис. 2). В качестве измельчаемого материала был выбран гипсовый камень, клинкер и щебень, твердость которых по таблице Мооса составляет 2, 3 и 7 единиц соответственно. Из рис. 2 видно, что с увеличением времени помола и снижением твердости материала эффективность возрастает.

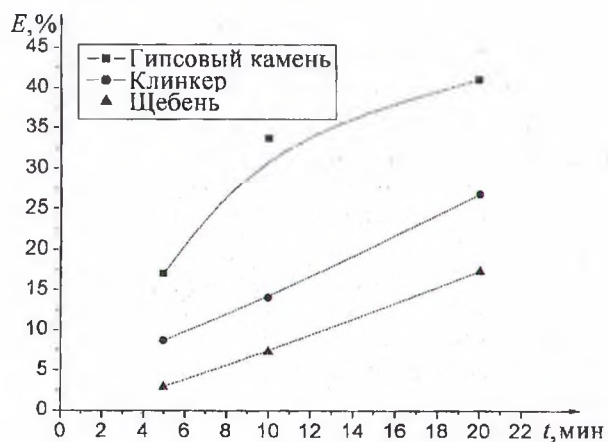


Рис. 2

Следующим этапом работы было определение зависимости эффективности процесса помола от степени загрузки барабана мелющими телами ($\alpha = V_{\text{ш}}/V_{\text{б}}, \%$). Из построенного графика (рис. 3) следует, что оптимальное величина вышеупомянутого параметра находится в пределах 38–50%.

Важным параметром, влияющим на эффективность процесса помола в планетарных мельницах, является отношение объема мелющих тел (шаров) к объему измельчаемого материала ($c = V_{\text{ш}}/V_{\text{м}}$). Эта зависимость представлена на рис. 4. Из нее видно, что максимальная эффективность была достигнута при значении величины $c = 3$.

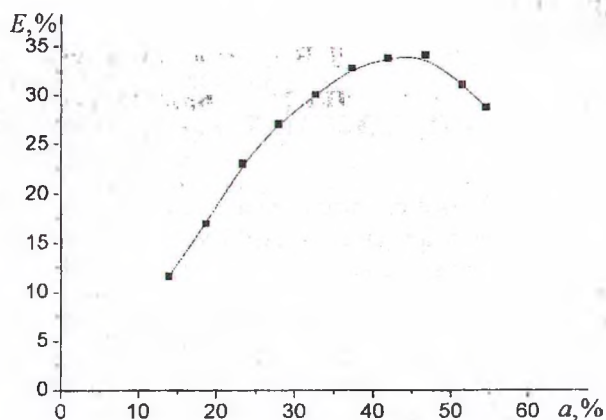


Рис. 3

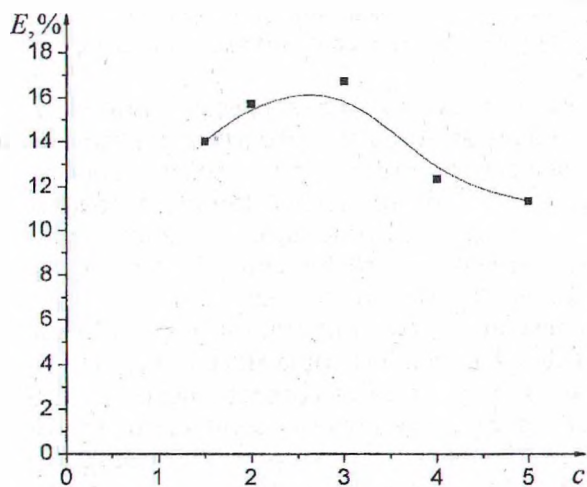


Рис. 4

Также нами было исследовано влияние размера мелющих тел на эффективность измельчения (рис. 5). Из полученной зависимости можно сделать вывод, что с увеличением диаметра мелющего тела до некоторой величины наблюдается повышение эффективности процесса измельчения. В частности, наибольшая эффективность была получена при использовании шаров диаметром 16,5 мм. Дальнейшее увеличение размера мелющих тел приводит к снижению эффективности помола. То есть существует некоторое оптимальное соотношение диаметра барабана к диаметру мелющего тела. В нашем случае наилучшая величина данного параметра равняется шести.

На рис. 6 представлена суммарная характеристика крупности по плюсу. Этот график позволяет определить выход любого класса крупности. Данный график свидетельствует о том, что в измельченном материале преобладают частицы размером 90 мкм и менее.

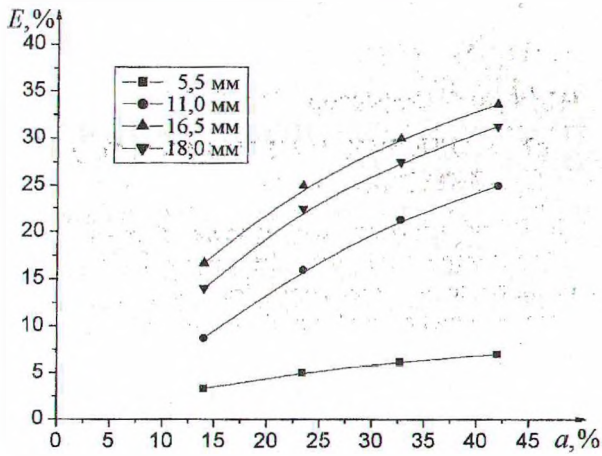


Рис. 5

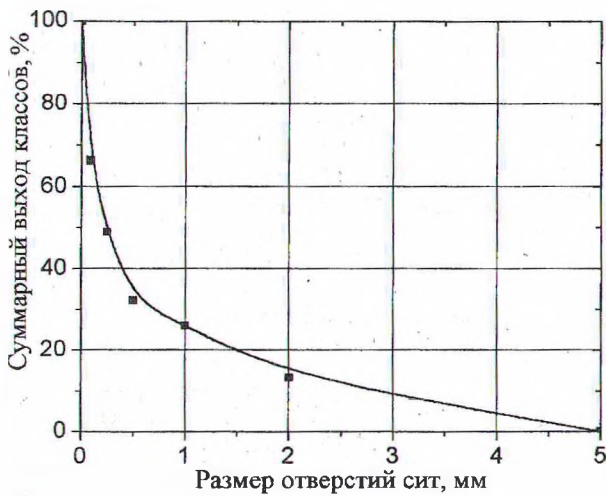


Рис. 6

Проделанная работа позволяет дать рекомендации по эффективной эксплуатации планетарных мельниц. Экспериментальные исследования показали, что оптимальная угловая скорость находится в диапазоне, нижнее значение которого определяется по формуле (2), а верхнее – на 20% больше предыдущего. Диаметр мелющих тел должен быть примерно в шесть раз меньше диаметра помольного барабана, а наилучшая степень загрузки последнего находится в пределах 38–50%. В свою очередь, оптимальная величина отношения объема шаров к объему материала лежит в интервале от 2 до 3.

Кроме того, использование водопадного режима в данном типе мельниц для помола материалов, твердость которых выше, чем у клинкера, является неэффективным.

Литература

1. Бушуев Л. П. Об аналогии между движением массива частиц в шаровой и планетарной мельницах // Изв. АН СССР, ОТН: Механика и машиностроение. 1959. № 4. С. 153–155.

2. Ким Бен Ги. Определение положения помольной среды в планетарной мельнице при каскадном режиме // Горный журнал. 1976. № 1. С. 149–153.

3. Кочнев В. Г. Исследование закономерностей процесса самоизмельчения в планетарно-центробежных мельницах. Автореф.-дисс. ... канд. техн. наук. Ленинград: Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова, 1978. 20 с.

4. Дмитрак Ю. В. Теория движения мелющей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород. Автореф.-дисс. ... д-ра техн. наук. М.: Московский горный институт, 2000. 45 с.

5. Вайтехович П. Е., Хвесько Г. М., Гапанюк Д. В., Семененко Д. В. Отрыв мелющих тел от поверхности барабана в планетарной мельнице с внешней обкаткой // Тр. БГТУ: Сер. химии и технологии неорган. в-в. 2003. Вып. XI. С. 188–194.

6. Вайтехович П. Е., Гапанюк Д. В., Семененко Д. В. Анализ кинематических и динамических характеристик планетарных мельниц // Материалы междунар. науч.-техн. конф.: «Интерстроймех-2002». Могилев, 2002. С. 322–323.

7. Вайтехович П. Е., Семененко Д. В. Влияние геометрических параметров привода на динамику планетарных мельниц с внешней обкаткой // Химическая промышленность. 2005. № 1. С. 36–39.

8. Андреев С. Е. Наивыгоднейшее число оборотов шаровой мельницы // Горный журнал. 1954. № 10. С. 44–49.

9. Андреев С. Е. О внутреннем трении в шаровой мельнице // Горный журнал. 1961. № 2. С. 62–68.