

этому обжиг проводился в течение 2 ч при температурах 700 °С и 750 °С, соответственно. Из полученного каустического доломита были изготовлены образцы в соответствии с малой методикой Стрелкова. Результаты физико-механических испытаний представлены в таблице.

Таблица – Физико-механические свойства образцов каустического доломита затворенного раствором бишофита

Каустический доломит обожженный при температуре	В/Ц	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте			
		1 сутки	3 суток	7 суток	28 суток
700 °С	0,42	65	85	88	92
750 °С	0,44	35	45	52	60

Как свидетельствуют полученные результаты, оптимальная температура полубожига использованного доломита – 700 °С. Установлено, что образцы магниезильных вяжущих характеризуются высокой механической прочностью уже в начальный период твердения: после 1 суток она достигает 65 МПа, а к 28 – 92 МПа.

Таким образом, в результате проведенных исследований была показана возможность использования отечественных минеральных ресурсов для получения высококачественных магниезильных вяжущих. Применение отечественного сырья позволит существенно снизить себестоимость строительных материалов получаемых на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

1 Обзор рынка доломита в СНГ и прогноз его развития в условиях кризиса. М. : ИнфоМайн, 2009 (май).

УДК 621.926

П.Е. Вайтехович, проф., д-р техн. наук;

Д.В. Семененко, ассист.;

Д.Н. Боровский, асп.; П.С. Козлов, магистр. (БГТУ, г. Минск)

ДВИЖЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ ТЕЛ В БЫСТРОХОДНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

В предыдущих работах авторов [1] было показано, что для грубого и тонкого помола наиболее эффективными способами воздействия являются раздавливание и удар. Однако там же отмечено, что применение этих способов для сверхтонкого помола может оказаться экономически невыгодным из-за резкого увеличения удельных энергозатрат. Анализ современных тенденций развития технологий диспергирования, материалов и оборудования для их реализации свидетельствует о том, что получение частиц, близких к критическому размеру, невозможно без истирающего воздействия. Конечно истирание – более затратный способ

измельчения. Значительная часть энергии уходит на трение между частицами, превращаясь в тепловую. Однако при сверхтонком помоле приходится идти на повышение энергозатрат. Сопоставляя эффект и удельные энергозатраты, можно констатировать факт, что без использования истирания в этом случае не обойтись. Эти рассуждения подтверждаются практикой. Например, даже в традиционных крупнотоннажных технологиях, таких как производство цемента, на стадиях окончательного помола продолжают использоваться барабанные шаровые мельницы, в которых реализуется комплексное воздействие: удар и истирание.

То, что барабанные шаровые мельницы не исчерпали себя как помольный агрегат, подтверждается многочисленными исследованиями и публикациями. Вместе с тем анализ этих публикаций показывает, что появились новые направления в развитии шаровых мельниц и использовании шаров как измельчающих тел [2].

Эти направления связаны с разработкой быстроходных шаровых мельниц, таких как центробежно-шаровые и планетарные. Принцип, положенный в основу этих агрегатов, заключается в изменении траектории движения мелющих тел, повышении скорости их движения. Традиционные тихоходные шаровые мельницы при этом превращаются в быстроходные. В таких мельницах реализуется комплексное воздействие на материал, включающее раздавливание, удар и истирание. Причем за счет высоких скоростей и возрастающего влияния инерционных сил все эти эффекты многократно увеличиваются. Изменение характера воздействия повлекло за собой координатную трансформацию конструктивного исполнения. К таким агрегатам относятся центробежно-шаровая и планетарная мельницы с вертикальной размольной камерой.

Перемещение шаров в роторе центробежно-шаровой мельницы в какой-то мере упорядочено. Поэтому для учета их взаимного влияния можно рассматривать движение в виде цепочки шаров. При такой модели движения на шар, находящийся в произвольной точке ротора, кроме основных силовых факторов, будут действовать дополнительные силы: F_p – сила давления (подпор) других шаров; G_I – сила тяжести столбика шаров; F_{IT} – сила трения между шарами, находящимися в соседних цепочках.

Сила давления на шар, находящийся на любом текущем радиусе ротора

$$F_p = \frac{1}{n} \int_{r_m}^r dF_{pi} = \frac{4\pi \cdot j \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r_m (r^3 - r_m^3)}{3n}, \quad (1)$$

где n – количество шаров на текущем радиусе ротора.

При этом уравнения движения мелющих тел в роторе имеют вид:

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 x + 2\omega v_y - f \left[(\omega^2 y - 2\omega v_x) \sin \alpha + g \cos \alpha \right] \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} - \right. \\
 & \left. - f_1 \left(2\omega \sqrt{v_x^2 + v_y^2} - \omega^2 x \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \right) \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \right. \\
 & \left. \frac{dv_y}{dt} = \omega^2 y + 2\omega v_x - f \left[(\omega^2 y - 2\omega v_x) \sin \alpha + g \cos \alpha \right] \frac{\sqrt{v_y^2 + v_z^2}}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} \cos \alpha - \right. \\
 & \left. - f_1 \left(2\omega \sqrt{v_x^2 + v_y^2} - \omega^2 x \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \right) \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \right. \\
 & \left. + \left[\frac{j \cdot \omega^2 (r^3 - r_m^3)}{\pi \cdot r \cdot r_m} \cos \alpha - \frac{g(H-z)}{2r_m} \sin \alpha \right] \cos \alpha; \right. \\
 & \left. \frac{dv_z}{dt} = -g - f \left[(\omega^2 y - 2\omega v_x) \sin \alpha + g \cos \alpha \right] \frac{\sqrt{v_y^2 + v_z^2}}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} \sin \alpha + \right. \\
 & \left. + \left[\frac{j \cdot \omega^2 (r^3 - r_m^3)}{\pi \cdot r \cdot r_m} \cos \alpha - \frac{g(H-z)}{2r_m} \sin \alpha \right] \sin \alpha. \right. \quad (2)
 \end{aligned}$$

С использованием этих уравнений рассчитана траектория движения мелющих тел по поверхности ротора и на выходе из него. Это дало возможность определить общую траекторию движения мелющих тел и загрузки в целом. Разработанная математическая модель, кроме того, позволяет определить такие параметры как скорость движения мелющих тел, высоту их подъема и в конечном итоге оптимальные геометрические параметры мельниц.

Движение мелющих тел в планетарной мельнице значительно сложнее, чем в центробежно-шаровой, что обусловлено сложностью движения самого размольного барабана. Ранее нами было исследовано движение одиночного мелющего тела [3].

Естественно предположить, что основными видами движения мелющих тел и измельчаемого материала относительно барабана будут безотрывное в прижатом состоянии без скольжения, безотрывное скольжение и отрыв с последующим свободным падением. Первое из них характеризует преимущественное раздавливающее воздействие на измельчаемый материал, второе — истирающее, третье — ударное. Величины зон, характеризующимся каждым из указанных видов движения мелющих тел, и границы между ними постоянно трансформируются по мере изменения результирующего усилия. Специфика изменения размеров и формы основных помольных зон в сегменте загрузки за полный цикл, соответствующий одному обороту водила, послужила целью очередного этапа исследования планетарных мельниц. Причем по аналогии с удар-

В центробежной мельнице здесь также учтено взаимодействие между взаимодействующими телами. В качестве дополнительных силовых факторов приняты сила трения и сила взаимного давления между шарами.

Уравнение относительного движения мелющего тела при этом будет иметь вид:

$$m\ddot{a}_d = \vec{G} + \vec{F}_T + \vec{F}_{1e} + \vec{F}_{2e} + \vec{F}_c + \vec{F}_p, \quad (3)$$

где m – масса мелющего тела, кг; a_d – относительное ускорение, м/с²; G – сила тяжести, Н; F_T – сила трения, Н; F_{1e} и F_{2e} – инерционные силы, связанные с поворотом барабана и водила соответственно, Н; F_c – кориолисова сила инерции, Н; F_p – сила давления, Н.

На элементарный объем в сегменте загрузки действуют те же силы, что и на одиночное мелющее тело. Это сила тяжести G , две инерционные силы F_{1e} и F_{2e} , нормальная реакция N , сила трения $F_T = fN$, которая удерживает этот элементарный объем от проскальзывания. Скольжение возникает за счет воздействия тангенциальной силы F_v , представляющей проекцию всех сил на касательную в исследуемой точке.

Сила давления в общем случае равна нормальной реакции.

$$\vec{F}_p = \vec{N} = \omega^2 k R \left[\frac{r}{kR} + \frac{k}{1+k} \cos(\psi - \varphi) \right] - g \sin \psi \quad (4)$$

Эта же сила, действующая на шар, находящийся на радиусе r_i

$$F_{ip} = 2r_w^2 \rho \int_{r_0}^{r_i - r_w} \vec{F}_{1p} dr \quad (5)$$

В результате интегрирования получаем уравнение для расчета силы давления столбика шаров на плоскость их смещения

$$\vec{F}_{ip} = 2r_w^2 \rho \left[\omega^2 \frac{(r_i + r_w)^2 - r_0^2}{2} + (r_i + r_w - r_0) \left[\frac{\omega^2 k^2 R}{1+k} \cos(\psi - \varphi) - g \sin \psi \right] \right] \quad (6)$$

С учетом сил взаимодействия между парами удалось определить границы характерных зон загрузки в барабане планетарной мельницы и таким образом оценить степень соответствующего воздействия на общий разрушающий эффект.

Таким образом, в результате проведенной работы, создана методика расчета параметров движения мелющих тел в быстроходных шаровых мельницах с учетом их взаимодействия. Это дает возможность провести оптимизацию конструктивных и технологических параметров мельниц с высокой степенью достоверности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Вайтехович, П.Е. Тенденции и перспективы развития техники и технологии дезинтеграции / П.Е. Вайтехович Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – 2008. – Вып. XVI. – С. 106–112.
- 2 Hiem, A. The effect of the number of contact points grinding elements on the rate of grinding in ball mills / A. Hiem, T.P. Olejnik, A. Powlak // Physicochem. Probr. Miner. Process. – 2004. – Vol. 38. – P. 147–155.
- 3 Вайтехович, П.Е. Особенности движения мелющей загрузки в планетарных мельницах с внешней обкаткой / П.Е. Вайтехович, Д.В. Семененко // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – №7. – С. 7–8 (Vaitekhovich, P. E. Characteristic Features of the Movement of Grinding Charges in Planetary Mills with External Rolling / P.E. Vaitekhovich, D.V. Semenenko // Chemical and Petroleum Engineering. – 2005. – Vol. 41, No. 7-8. – P. 360-362).

УДК 666.632

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
С.Е. Баранцева, ст. научн. сотр., канд. техн. наук;
А.И. Позняк, асп. (БГТУ, г. Минск)

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ СТЕН

Импортозамещение является составной частью общеэкономической стратегии развития Республики Беларусь в отрасли промышленности строительных материалов, направленной на увеличение конкурентоспособности продукции, расширение ее ассортимента и повышение качества, а также активизацию инвестиционной деятельности.

Реализация этих направлений возможна как за счет организации собственного производства продукции взамен импортируемой, так и за счет мероприятий по экономии топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов, внедрения новых технологий и модернизации производства.

В соответствии с приоритетными направлениями развития материально-технической базы строительства Республики Беларусь на 2000–2015 гг. особое внимание уделяется сокращению импорта строительных материалов по причине того, что в строительной отрасли страны имеется все необходимое для производства отечественной продукции, способной заменить импорт многих отделочных материалов, в том числе керамических плиток.