

Таким образом, рассчитываются конструктивные (угол конуса, его высота) и технологические (линейная и угловая скорости движения материала), основываясь на законах динамики.

Кроме этого для конструкторской проработки необходим еще один элемент - это документальное подтверждение новизны предлагаемого к внедрению образца будущей машины. Новизна данного конструктивного решения подтверждается поданной авторами заявки на патент, приоритет которого считается с 24.09.97 за номером 970500 в государственном патентном комитете Республики Беларусь.

**Литература.** 1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Учебное пособие для Втузов. В 3-х т. Т. II., динамика, М., Наука, 1991, с 640.

УДК 621.762.222+621.926.32/33

Е.М.Дубовская

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦАХ ВАЛКОВОГО ТИПА

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Процессы измельчения широко применяются в различных производствах. Это связано с многообразием достигаемых измельчением целей. В металлургии, производстве строительных материалов, химической, пищевой промышленности, при переработке промышленных и бытовых отходов измельчением материалов изменяют их форму, размеры, состояния, улучшают технологические и потребительские свойства, повышают химическую активность материалов, возможности разделения или соединения компонентов при последующей обработке, возможности создания композиций, отвечающих непрерывно возрастающим требованиям и потребностям современной техники. Однако недостаток информации о нетрадиционных конкретных отраслях промышленности способах и устройствах для измельчения материалов, отсутствие научно обоснованных критериев режимов обработки приводит к необоснованным решениям конкретных технических задач, к ограничению используемых способов и устройств небольшим числом конструкций, которые не учитывают реальные физико-химические процессы режимов обработки.

Так, крайне редко в порошковой металлургии, при переработке промышленных отходов, в производстве строительных материалов используются измельчающие устройства валкового типа. Между тем, с точки зрения захвата материала, силового воздействия на него и измельчения за счет предельного обжатия со сдвигом частиц, гладковалковые мельницы функционируют наиболее организованно и рационально [1, 2]. Отсутствие потерь энергии на перемещение по сложным траекториям больших масс размольных тел и обрабатываемого материала, что характерно в частности для шаровых мельниц, обеспечивает более высокую производительность при меньшей удельной энергоемкости и износе размольных тел, а также более узкое поле рассеяния размеров частиц.

Распространен способ, при котором обрабатываемые куски и частицы непосредственно контактируют с валками, а их конечный размер определяется межвалковым зазором [3, 4]. Однако, как показывает опыт прокатки порошков [1, 5, 6] возможности

измельчения в валковых мельницах могут быть расширены за счет непрерывного саморегулирующегося захвата валками толстого слоя сыпучего материала, на порядок и более превышающего размеры получаемых частиц. Согласно результатам расчетов и экспериментов, захват сыпучего материала происходит в сечении соответствующем углу  $\alpha = 28 - 34^\circ$  ( $\alpha = 0,5 \cdot [\varphi_0 + \arcsin(\sin \varphi_0 / \sin \varphi)]$ ), где  $\varphi_0$  и  $\varphi$  - углы трения о валки и между частицами. При этом количество захватываемого материала постоянно и определяется гиперболической функцией  $h \cdot \rho_\lambda = C_\lambda \approx const$ , а толщина  $h$  слоя выходящего из валков порошка плотностью  $\rho_\lambda$  составляет 0,006...0,010 диаметра валков. В процессе прокатки в условиях всестороннего сжатия основная масса порошка деформируется и измельчается в результате контактного взаимодействия обрабатываемых частиц. Происходит взаимное перемещение частиц с переориентировкой относительно главных направлений (напряжений), а в зоне повышенного давления - блочный сдвиг по взаимно пересекающимся линиям разрыва скоростей и напряжений. Это обеспечивает измельчение частиц порошка, основная масса которых практически не контактирует с размольными телами - валками, что уменьшает износ рабочих органов, а следовательно и загрязнение продуктов измельчения.

Проведенные эксперименты измельчения кварцевого песка, кузнечной окалины и отработанной формовочной смеси показали, что измельчение в толстом слое возможно в достаточно узком диапазоне скоростей [7], обеспечивающих фильтрацию воздуха и не допускающих образование псевдосжиженного слоя в зоне захвата материала валками.

Несмотря на высокую эффективность, использование валковых мельниц ограничено вследствие характерных для прокатки условий захвата валками кусковых и сыпучих материалов, предопределяющих большие (до 1000 мм и более) диаметры бочки валков. В ролико-кольцевых мельницах, в которых материал обрабатывается между валком и внутренней поверхностью кольца, этот недостаток отсутствует. Размер захватываемых кусков и высота сечения захвата порошка в этих устройствах фактически ограничиваются разностью диаметров валка и внутренней поверхности кольца.

Сравнительно большие сечения захвата и повышенная протяженность очага уплотнения и деформации (обеспечивающие большую интенсивность проработки материала за один проход), во избежании перегрузки, заклинивания материала и поломки мельницы требуют тонкого регулирования подачи обрабатываемого материала в пространство между кольцом и валком, а в конструкции мельницы - необходимость предусмотреть предохранительный от перегрузки механизм (обычно пружинный) [3]. Это усложняет конструкцию и эксплуатацию оборудования. Поэтому перед измельчителями, в которых зазор между валком и кольцом жестко устанавливается рычажным или винтовым механизмами, имеют преимущества конструкции мельниц, где положение валка - ролика относительно кольца саморегулируется за счет механизмов привода рабочих органов, а также ролико-кольцевые мельницы центробежного типа, в которых регулирование зазора отсутствует, а прижатие валков к кольцу осуществляется за счет центробежных сил.

Для увеличения числа циклов силового воздействия на обрабатываемый материал в конструкциях ролико-кольцевых мельниц используют несколько, обычно 3 - 4 не приводных валка - ролика, планетарно вращающихся и упруго или за счет центробежных сил прижимающихся к рабочей поверхности кольца [3,8,9].

Обычно в ролико-кольцевых мельницах создают рассогласование скоростей валка - ролика и кольца, что обеспечивает более благоприятное для структурной деформации и измельчения частиц обрабатываемого материала напряженно-деформированное состояние.

В ролико-кольцевых мельницах горизонтального типа при частотах вращения кольца, превышающих критическую (перенос материала в зону захвата по поверхности кольца), и создании условий для продольного перемещения обрабатываемого материала представляется возможным его многократное обжатие за один проход материала через рабочую зону. В [3] показано, что движение по кольцу отдельной частицы материала гарантировано при минимальной угловой скорости вращения кольца

$$\omega_{ED} = \sqrt{2 \cdot g / (D_K \cdot f)},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения,  $D_K$  - диаметр кольца,  $f$  - коэффициент трения.

При расположении осей вращения валков и кольца вертикально, перемещение материала по рабочей зоне обеспечивается действием сил тяжести. При этом свободное падение материала периодически прерывается в момент воздействия на него размольных тел. Теоретические расчеты, проводимые без учета аэродинамического сопротивления, показали, что время пребывания частицы в рабочем пространстве есть функция рабочих и режимных параметров мельницы и размеров материала. Однако, в реальных условиях, по данным экспериментов, время пребывания материала в таких мельницах значительно больше рассчитанного, что связано с большим углом захвата слоя размальваемого порошка и времени контакта инструмента с материалом, а также с аэродинамическим сопротивлением движению частиц в вертикальном направлении.

В конструкциях ролико-кольцевых мельниц центробежного типа сочетается жесткий удар размольных тел по крупным частицам с центробежным ударом - обкатыванием более мелких частиц и слоя порошкового материала. При этом, теоретически установлено, что силовое воздействие на материал определяется массой размольных тел, их частотой вращения, коэффициентом трения и соотношением размеров частиц обрабатываемого материала и элементов рабочих органов [9].

Таким образом, при конструировании измельчителей, выборе режимов обработки в них материалов необходимо изучать процесс измельчения с учетом параметров и конструктивных особенностей измельчителей, комплекса технико-экономических показателей, физико-механических свойств измельчаемого материала. При этом рассматривать процесс измельчения не только как следствие воздействия на частицу сил со стороны инструментов (размольных тел), но и, прежде всего, как следствие сложного силового взаимодействия частиц между собой в связно-сыпучей массе, находящейся в напряженно-деформированном состоянии.

**Литература.** 1. Ложечников Е. Б. Прокатка в порошковой металлургии. - М.: Металлургия, 1987. - 185 с. 2. Ложечников Е. Б., Бусел А. В. Переработка промышленных отходов в валковых мельницах // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Тр. научно-технической конференции / Под ред. А. И. Свириденка. - Гродно, 1995. - Ч.1. - С. 165 - 170. 3. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. - 2-е изд., перераб. - М.: Химия, 1977. - 309 с. 4. Олевский В. А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок. - М.: Металлургиздат, 1958. - 448 с. 5. Степаненко А. В., Исаевич Л. А., Харлан В. Е. Обработка давлением порошковых сред. - Минск: Наука и техника, 1993. - 167 с. 6. Степаненко А. В., Исаевич Л. А. Непрерывное формование металлических порошков и гранул. - Минск: Наука и техника, 1980. - 256 с. 7. Ложечников Е. Б., Бусел А. В., Дубовская Е. М. Технологические особенности и параметры размола в валковых мельницах // Строительные и дорожные машины. - 1998. - №8. - С. 36 - 38. 8. Koka V. R., Hohmann R., Trass O. Flow of dry particulates in the Szego mill // Powder Technol. - 1987. - Vol. 51, № 2. - P. 189 - 200. 9. Ложечников Е. Б., Дубовская Е.М. Технология размола материалов в ролико-кольцевой мельнице центробежного типа // Материалы, технологии, инструменты. - 1999. - № 1. - С. 79 - 81.