

*Карпачев Д. В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ОБОГАЩЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

dik@intbel.ru

Исследована возможность использования пневмоструйной противоточной мельницы на стадии избирательного измельчения при обогащении рудных и нерудных материалов.

Ключевые слова: пневмоструйная мельница, избирательное измельчение, обогащение материалов, магнитный улавливатель.

Переработка крупнозернистых материалов в тонкодисперсные порошки с одновременным извлечением нежелательных примесей составляет одну из наиболее сложных технологических операций при производстве строительных и отделочных материалов, керамики, металлокерамических изделий, наполнителей для пластмасс, резин, лаков и красок, бумаги, а так же ряда других материалов. При этом дисперсность получаемого порошка и отсутствие в нем вредных минералов в значительной мере определяет качество получаемых на их основе продуктов и влияет на повышение технологических и потребительских свойств.

Необходимость повышения дисперсности строительных и других материалов приводит к потребности совершенствования существующих технологий и созданию нового технологического оборудования на основе новейших научно-технических достижений.

Анализ существующих способов избирательного измельчения материала показал, что для измельчения ударным способом с целью подготовки материала к обогащению эффективны пневмоструйные противоточные мельницы. Они пока не нашли широкого применения в промышленности. Множество существующих конструкций струйных измельчителей часто несовершенны, что обуславливает противоречивые суждения о возможностях струйного помола. Конструкции этих мельниц общеизвестны, но для работы в режиме избирательного измельчения они требуют доработки и оснащения системой точного регулирования и управления процессом [1, 2].

Реализуемый в них способ высокоскоростного самоизмельчения материалов, позволяет повысить не только дисперсность получаемого продукта, но и удельную производительность измельчителя, его энергонапряженность и к.п.д. Кроме того, появляется возможность реально использовать преимущества высокоскоростного избирательного измельчения многокомпонентных смесей материала с получением продуктов с

заданными свойствами и, что немаловажно, химически чистых от нежелательных примесей.

Анализ современного состояния и направлений развития технологий и оборудования для избирательного измельчения, показал, что пневмоструйные противоточные мельницы являются перспективным оборудованием, которые возможно применять при реализации избирательного измельчения и обогащения материала для снижения степени загрязненности получаемого продукта нежелательными примесями трудно-размалываемых частиц.

В качестве основного направления совершенствования пневмоструйных противоточных мельниц, с возможностью реализации в них избирательного измельчения и обогащения материала, целесообразно камеру помола мельницы оснастить устройством, позволяющим очищать помольную камеру от примесей сильномагнитных, слабомагнитных, парамагнитных и диамагнитных токопроводящих частиц без остановки мельницы [3].

На рис. 1 представлена конструкция пневмоструйной противоточной мельницы с встроенным ячеевым магнитным улавливателем позволяющая получать тонкодисперсные порошки с повышенными требованиями к их дисперсности и содержанию примесей.

Использование пневмоструйной противоточной мельницы с встроенным ячеевым магнитным улавливателем позволит осуществлять процесс избирательного измельчения и обогащения материала, для снижения степени загрязненности получаемого продукта нежелательными примесями трудноразмалываемых частиц.

Для определения изменения скорости частиц измельчаемого материала после их вылета из разгонной трубки, при движении вдоль камеры помола до области встречи струй, использовалось уравнение динамики одиночной частицы:

$$U_z \cdot \frac{dU_z}{dz} = \frac{F_m \cdot \psi \cdot \rho_0}{2 \cdot m} \cdot (V_z - U_z) \cdot |V_z - U_z|, (1)$$

где U_z – скорость частицы измельчаемого материала в помольной камере на расстоянии z от

среза разгонной трубки, м/с; V_z – скорость энергоносителя в помольной камере на расстоянии z от среза разгонной трубки, м/с; m – масса частицы измельчаемого материала, кг; F_m –

площадь миделевого сечения частицы диаметром d_s , м²; ψ – коэффициент лобового сопротивления частиц; ρ_0 – плотность энергоносителя, кг/м³.

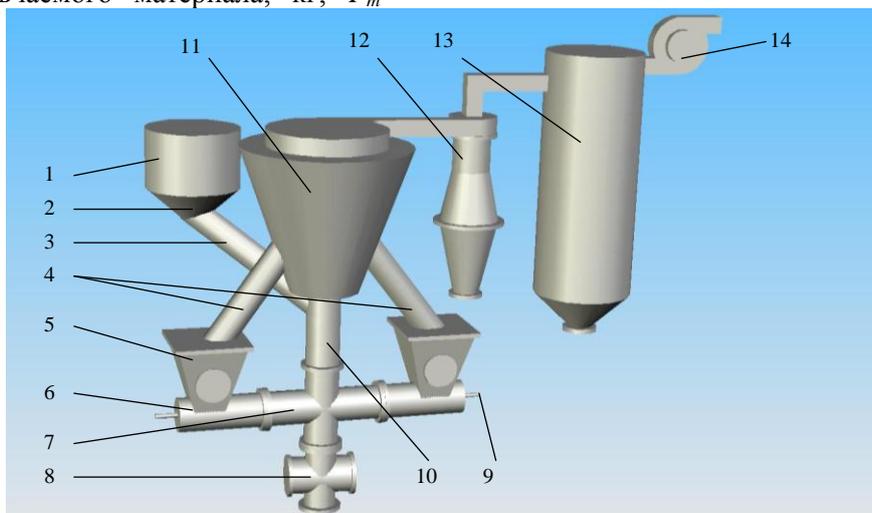


Рис. 1. Принципиальная схема пневмоструйной противоточной мельницы:

1 – бункер исходного материала; 2 – питатель; 3 – труба подачи материала в мельницу; 4 – патрубки пылевозврата; 5 – приемник материала; 6 – помольный эжектор; 7 – камера помола; 8 – ячейковый магнитный улавливатель; 9 – магистраль подачи энергоносителя; 10 – патрубок пылеуноса; 11 – сепаратор; 12 – циклон; 13 – рукавные фильтры; 14 – вытяжной вентилятор

Была получена система дифференциальных уравнений, описывающих процесс изменения скорости частиц и энергоносителя в помольной камере от среза разгонной трубки до области соударения встречных потоков:

$$\begin{cases} U_z \cdot \frac{dU_z}{dz} = \beta \cdot (V_z - U_z) \cdot |V_z - U_z| \\ V_z = -\frac{V_0}{z_0} \cdot (z - z_0) \end{cases}, \quad (2)$$

где V_0 – скорость энергоносителя на срезе разгонной трубки, м/с; z_0 – расстояние от среза разгонной трубки до плоскости встречи струй, м.

Установлено, что размер частиц d_s существенно влияет на характер их движения в помольной камере. Практически все частицы, независимо от их размеров на начальном участке помольной камеры продолжают разгоняться энергоносителем до того момента, пока скорость энергоносителя выше скорости самих частиц. Наиболее крупные из них с $d_s=3 \div 5$ мм, за счет большей инерции, при подлете к области взаимодействия встречных потоков, обладают практически максимальной скоростью. А скорость мелких частиц с $d_s=1 \div 3$ мм после небольшого участка, когда она растет, начинает снижаться. При этом, тенденция изменения скорости частиц при разных начальных скоростях энергоносителя на срезе разгонной трубки имеет одинаковый характер.

Чтобы избежать нежелательного для эффек-

тивной работы мельницы торможения в потоке газа частиц измельчаемого материала, рекомендовано длину помольной камеры, выбирать в зависимости от длины эффективного пролета частиц материала.

Расстояние от среза разгонной трубки до срединной плоскости помольной камеры предложено выбирать из соображений минимального противодействия в выходном сечении разгонных трубок эжекторов. Установлено, что для исследуемой помольной камеры длина струи, соответствующая этому расстоянию, удовлетворяет условию:

$$\ell_{стр} = (1,5 \div 2) \cdot d_{мп}, \quad (3)$$

где $\ell_{стр}$ – длина струи в помольной камере, м;

$d_{мп}$ – диаметр разгонной трубки эжектора мельницы, м.

Рассмотрим механизм взаимодействия двух встречных потоков в помольной камере (рис. 2). На разогнанные энергоносителем частицы в зоне встречи струй действует сила разрежения, создаваемая на выходе из помольной камеры и магнитное поле ячейкового улавливателя. В силу этого с энергоносителем из помольной камеры удаляются в первую очередь самые мелкие частицы. Более крупные по инерции перемещаются прямолинейно вдоль оси Z и разрушаются при столкновениях с частицами встречного потока газозвеси. В результате столкновения потоков на границе помольной камеры (ось Y) об-

разуется некоторая область D , в которой наблюдается наиболее эффективное взаимодействие частиц измельчаемого материала. Под действием магнитного поля улавливателя минералы, обладающие магнитными свойствами, скапливаются в нижней части камеры помола и периодически выводятся из зоны измельчения. Движение частиц во встречных струях газозвеси (область D) носит характер затухающих колеба-

ний при переходе из одной струи в другую. Последовательно чередуются участки разгона и торможения частиц. Следовательно, в области D скорость частиц не будет адекватно описываться системой уравнений (2), так как в ней не учитывается сила сопротивления, действующая со стороны встречной струи в зоне перекрестия струй.

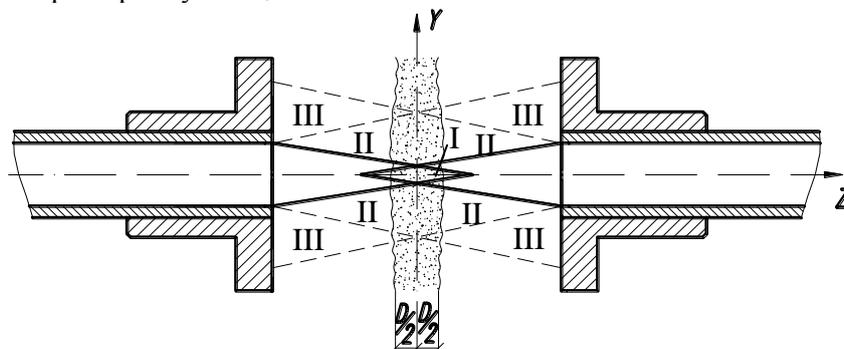


Рис. 2. Схема взаимодействия струй в помольной камере:
 I – зона прямого встречного удара (зона пересечения потенциальных ядер струй),
 II – зона косо встречного удара, III – зона случайных ударов

Изменение скорости частицы в области $z_0 - \frac{D}{2} \leq z \leq z_0 + \frac{D}{2}$ как функция координаты ξ , описывается нелинейным дифференциальным уравнением. Решение этого уравнения представляет собой выражение, которое может быть использовано для определения изменения скорости частиц, измельчаемого материала в области D помольной камеры:

$$U(\xi) = \pm \frac{\sqrt{2} \cdot \omega_0}{2 \cdot \lambda} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \lambda \cdot \xi} \quad (4)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_{кв.уп.}}{m}}$ – собственная частота колебаний частицы материала, c^{-1} ; $\lambda = \frac{\chi}{m}$ – коэффициент затухания, m^{-1} .

Коэффициенты $k_{кв.уп.}$ и χ определяются следующим образом:

$$k_{кв.уп.} = \frac{m_0 \cdot V_0^2}{z_0^2}, \quad \chi = \frac{m}{2 \cdot \sigma \cdot d_s} \cdot E, \quad (5)$$

На расстоянии $\pm D/2$ от границы помольной камеры, скорость частиц равняется нулю:

$$U\left(+\frac{D}{2}\right) = -U\left(-\frac{D}{2}\right) = 0, \quad (6)$$

следовательно, на основании (4) при условии (6) можно оценить значение области D :

$$D = \frac{1}{\lambda} = \frac{2 \cdot \sigma}{E} \cdot d_s, \quad (7)$$

С увеличением размера частиц измельчаемого материала значение области D также возрастает по линейному закону согласно (7). При этом для всех частиц измельчаемого материала значение области D меньше размера самой частицы, следовательно, при встречном движении двух потоков твердых частиц, в зоне прямого встречного удара, практически все частицы ведут себя так, как в случае, когда поток частиц непосредственно направлен на твердую плиту.

На следующем этапе изучения потоков энергоносителя и частиц в камере помола пневмоструйной противоточной мельницы рассмотрен полный факел раскрытия струи на выходе из разгонной трубки. При рассмотрении всей области взаимодействия частиц материала в камере помола приходим к выводу, что зона прямого встречного удара чрезмерно мала и не может адекватно представить полную картину избирательного измельчения материала.

По этой причине существует необходимость изучения зоны косо встречного удара и зоны случайных ударов. Потому как, процесс измельчения сопровождается уменьшением массы отдельных частиц за счет уменьшения их объема. С уменьшением размера частиц, при нахождении их вне зоны встречного удара, должны изменяться условия силового нагружения их, и разрушение в зонах косо встречного и случайных ударов будет происходить в основном не за счет удара, а за счет трения.

В точках соприкосновения разрушаемой частицы с окружающими частицами возникают

трещины, распространяющиеся радиально в некоем шаровом объеме. На некотором удалении от поверхности трещины пересекаются друг с другом, образуя трещиноватый слой, слабо связанный со слоями, расположенными глубже. Затем происходит отшелушивание трещиноватого слоя, после чего процесс повторяется. Тонкое измельчение характеризуется многократным повторением описанного цикла и согласуется с принципами избирательного измельчения.

Чтобы оценить границы рассматриваемых зон, необходимо знать изменение скорости частицы в помольной камере в зависимости от угла отклонения от горизонтального направления.

Анализ зависимостей значений скоростей энергоносителя и частицы материала показывает, что равенство скоростей реализуется в некоторой точке от среза разгонной трубки. Данный факт может означать, что движение массы твердых полидисперсных частиц в газовом потоке в отличие от движения одиночной частицы усложняет вихревую структуру потока. Газовый поток, содержащий твердые частицы в определенной концентрации, характеризуется наличием относительных движений частиц.

В подобных условиях возникают силы аэродинамического взаимодействия между газом и твердым телом, а также между частичками твердого материала. Величина и характер этого взаимодействия зависят от физико-механических свойств материала, дисперсности и концентрации твердых частиц, режима движения потока.

Неправильная форма частиц и смещение центра масс вызывает вращение частиц материала, при этом механизм взаимодействия твердой и газовой фаз в движущихся пылегазовых потоках позволяет разрушаться частицам материала не только при центральном ударе, но и силами трения при вращении или при нецентральных ударах частиц.

Следовательно, можно считать, что на определенном расстоянии от среза разгонной трубки при взаимодействии со встречной двухфазной струей, частицы измельчаемого материала, находящиеся в зонах косоугольного встречного и случайных ударов, подвержены малоинтенсивным соударениям друг о друга и о внутреннюю поверхность камеры помола. Такой механический способ разрушения благоприятно сказывается на реализации условий избирательного измельчения в пневмоструйной противоточной мельнице.

В виду того, что время пребывания частицы измельчаемого материала в зонах косоугольного встречного и случайных ударов помольной камеры, где частицы разрушаются за счет истирания, мало, необходимо учитывать это при настройке режимов работы сепаратора, для обеспечения наибольшей эффективности процесса избирательного измельчения и обогащения. На рис. 3 предложена технологическая схема для избирательного измельчения и обогащения руды с использованием пневмоструйной противоточной мельницы с ячейковым магнитным улавливателем.

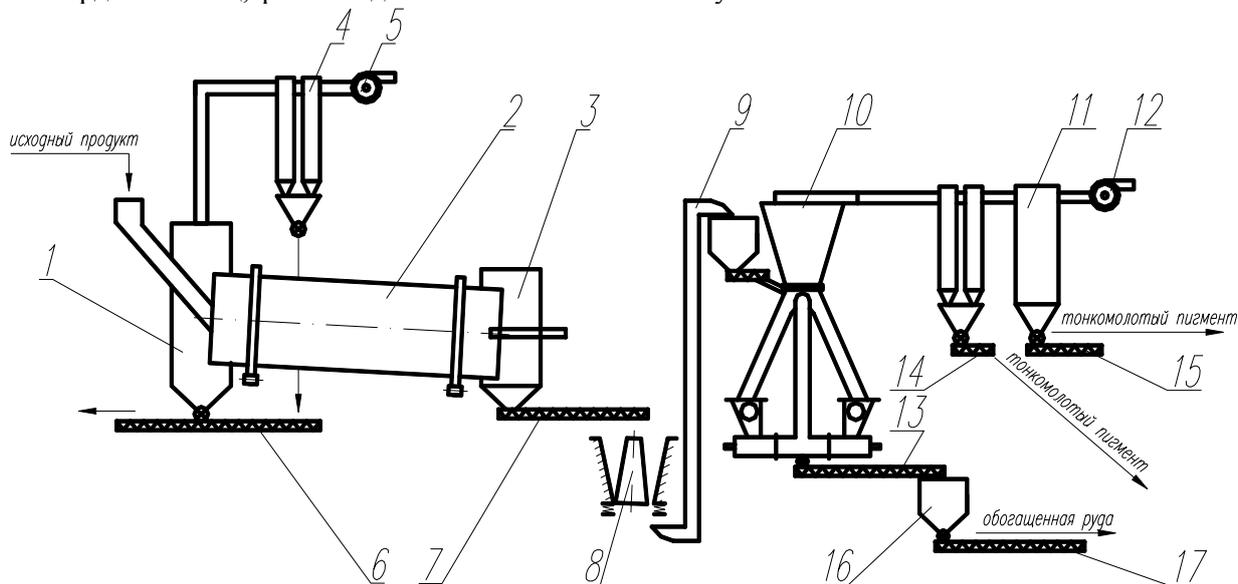


Рис. 3. Технологическая схема для избирательного измельчения и обогащения руды:

- 1 – камера загрузки; 2 – барабан сушильный; 3 – теплогенератор; 4 – группа циклонная; 5, 12 – вентиляторы; 6, 7, 13, 14, 15 и 17 – конвейер винтовой; 8 – дробилка конусная; 9 – элеватор; 10 – установка помольно-обогащительная; 11 – фильтр рукавный; 16 – бункер накопительный

В результате избирательного измельчения и обогащения хромовой руды в пневмоструйной

противоточной мельнице с ячейковым магнитным улавливателем, содержание Cr_2O_3 повыша-

лось с 29,8% до 38% в камере помола и до 34,4% в циклонах. Порошки хромовой руды из камеры помола рекомендуется применять в металлургическом производстве, порошки из циклонов – для использования в получении защитных покрытий.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология сухого обогащения и получения высококачественных пигментов с использованием противоточных струйных мельниц / С.С. Поздняков, В.А. Уваров, Д.В. Карпачев, И.А. Овчинников // Современные технологии в промышленности строительных материалов и

строительной промышленности: Материалы Междунар. конгр. посв. 150-летию В.Г. Шухова. Ч.3. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. – С. 392 - 395.

2. Поздняков С.С., Уваров В.А., Карпачев Д.В. Сухое обогащение хромовой руды с применением струйной противоточной мельницы // М: Издательский дом «Руда и Металлы»: Горный журнал. – 2004. – № 8. – С. 111-112.

3. Карпачев Д.В., Уваров А.В. Новое технологическое решение для сухого обогащения бедных магнетитовых руд и получения высококачественных пигментов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвуз. сб. статей – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. – С. 48 -51.