

Литература:

- Механические процессы и аппараты химической технологии. Измельчение: учебно-методическое пособие/ сост.: С. И. Антонов, Н. Н. Лясникова, Е. С. Соколов-Бородкин.-М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. - 56 с.

Лекция № 1

Физико-механические свойства сыпучих материалов.

Общие сведения об измельчении.

Способы измельчения материалов.

Теории измельчения.

Под *сыпучим материалом* понимают сыпучую среду, состоящую из твердых частиц произвольной формы, находящихся в контакте. Пространство между частицами может быть заполнено газом или жидкостью.

Между частицами сыпучего материала могут возникать силы взаимного притяжения. В этом случае сыпучий материал называют связанным. В идеальном сыпучем материале силы связи между частицами отсутствуют.

Технический сыпучий материал – это полидисперсная система, состоящая из частиц различной формы и размеров. Основным размером частиц неправильной формы принято считать *средний диаметр* частиц исследуемой порции материала.

В зависимости от среднего диаметра частиц различают следующие состояния сыпучего материала:

- пылевидное ($d \leq 0,05$ мм);
- порошкообразное ($0,05$ мм $< d \leq 0,5$ мм);
- мелкозернистое ($0,5$ мм $< d \leq 2$ мм);
- крупнозернистое (2 мм $< d \leq 10$ мм);
- кусковое ($d > 10$ мм).

Насыпной плотностью ρ_H смеси частиц твердого (сыпучего) материала называют массу единицы объема сыпучего материала при свободном засыпании в измерительный стакан.

Между истинной плотностью ρ и насыпной плотностью ρ_H существует связь:

$$\rho_H = \rho(1 - \varepsilon), \quad \varepsilon = V_{\text{св}}/V,$$

где ε – **порозность** смеси частиц твердого материала, равная отношению объема свободного пространства $V_{\text{св}}$ между частицами к полному объему V .

Насыпная плотность сыпучего материала зависит от размера составляющих его частиц, влажности, плотности укладки частиц в слое.

Она не остается постоянной даже при покое сыпучего материала.

Под влиянием вибраций стенок сосуда сыпучий материал со временем уплотняется и его насыпная плотность достигает некоторого предельного значения ρ_{\max} . В процессе движения, перемещения, смешения, наоборот, происходит разрыхление материала. Насыпная плотность при этом уменьшается, приближаясь к предельному значению ρ_{\min} . Отношение $\rho_{\max} / \rho_{\min}$ для некоторых материалов достигает значений 1,52.

По величине насыпной плотности различают сыпучие материалы:

- лёгкие ($\rho_n < 600 \text{ кг/м}^3$);
- средние ($600 < \rho_n < 1100 \text{ кг/м}^3$);
- тяжёлые ($1100 < \rho_n < 2000 \text{ кг/м}^3$);
- весьма тяжёлые ($\rho_n > 2000 \text{ кг/м}^3$).

Углом естественного откоса α называют угол наклона образующей конуса из сыпучего материала к горизонтальной подложке, на которую свободно вытекла из воронки порция этого материала.

При определении угла α исследуемый сыпучий материал выпускают из воронки на горизонтальную площадку, в результате чего там образуется конус из материала. Для связных сыпучих материалов существует минимальный диаметр отверстия воронки, при котором над ним образуется устойчивый свод из частиц сыпучего материала, препятствующий их истечению из отверстия.

Угол α определяет подвижность сыпучего материала, его необходимо учитывать при конструировании лотков, выпускных конических частей бункеров.

Значения угла α колеблются от 25 до 44°.

Параметры, характеризующие поведение сыпучего материала под действием внешней нагрузки:

- **коэффициент внутреннего трения $f_{вн}$** , определяющий характер движения и перемешивания частиц материала;
- **коэффициент внешнего трения f** , характеризующий взаимодействие частиц с рабочими органами машин;
- **начальное сопротивление сдвигу τ_0** – давление, необходимое для преодоления сил сцепления частиц неподвижного слоя материала.

Значения $f_{вн}$, f и τ_0 для конкретных материалов определяют на специальных сдвиговых приборах. Вместо $f_{вн}$ и f в справочниках иногда приводят углы внутреннего $\varphi_{вн}$ и φ внешнего трения ($f_{вн} = \text{tg } \varphi_{вн}$, $f = \text{tg } \varphi$).

Значения коэффициента внутреннего трения $f_{вн}$ колеблются от 0,25 до 1

Изменение структуры слоя под действием сжимающей нагрузки характеризуется **коэффициентом уплотнения** k_y

$$k_y = \rho_{H1} / \rho_{H2},$$

где ρ_{H1} , ρ_{H2} – насыпные плотности соответственно до и после прессования (уплотнения).

Способность сыпучего материала вытекать с той или иной скоростью из отверстий оценивают **коэффициентом текучести** k_m

$$k_m = tr^{2,58} / G,$$

где t – время вытекания сыпучего материала из воронки, с; r – радиус отверстия воронки, мм; G – навеска сыпучего материала, засыпанного в воронку, г. Значение коэффициента k_m зависит от многих физико-механических параметров и колеблется в широких пределах.

(Для кварцевого песка $k_m = 3 \div 4$). Чем больше величина k_m , тем менее подвижен материал, тем медленнее он вытекает из отверстий.

Влажность u и влагосодержание U материала определяют по формулам

$$u = \frac{m_B - m_C}{m_B} \cdot 100\% , U = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100\% ,$$

где m_B и m_C – масса влажного и абсолютно сухого материала.

Присутствие влаги в сыпучем материале увеличивает его плотность.

Общие сведения об измельчении

Измельчением называют процесс разрушения кусков твердого материала при критических внутренних напряжениях, создаваемых в результате какого-либо нагружения и превышающих соответствующий предел прочности. Напряжения в материале могут создаваться механическим нагружением, температурными воздействиями, ультразвуковыми колебаниями и др. Наибольшее применение в современном производстве имеют механические способы измельчения.

Измельчение делят на *дробление* и *помол*, а машины, применяемые для этих целей, называются *дробилками* и *мельницами*. В зависимости от размеров частиц продукта (конечного размера частиц d_k) различают следующие виды измельчения:

- дробление крупное ($100 < d_k < 350$ мм);
- среднее ($40 < d_k < 100$ мм);
- мелкое ($5 < d_k < 40$ мм);
- помол грубый ($0,1 < d_k < 5$ мм);
- средний ($0,05 < d_k < 0,1$ мм);
- тонкий ($0,001 < d_k < 0,05$ мм);
- сверхтонкий ($d_k < 0,001$ мм).

Основной характеристикой процесса измельчения является ***степень измельчения***, которая определяется соотношением средних диаметров кусков исходного материала d_H и продукта d_K :

$$i = \frac{d_K}{d_H},$$

Значения d_H , d_K – обычно максимальные линейные размеры наибольшего куска материала.

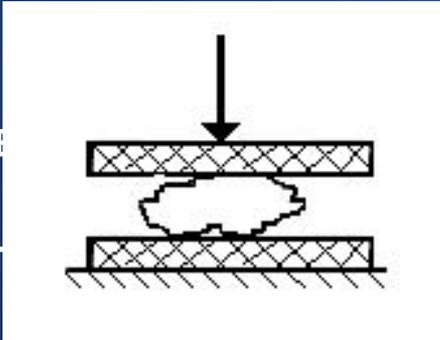
Степень измельчения отражает технологию и определяет параметры измельчителей.

Процесс измельчения целесообразно осуществляют последовательно на нескольких измельчителях. Каждый отдельный измельчитель выполняет часть общего процесса, называемую ***стадией измельчения***.

Число стадий измельчения определяется требуемой степенью измельчения.

Способы измельчения материалов

В зависимости от назначения и принципа действия в машинах для измельчения могут использоваться различные виды нагрузок. В каждой измельчающей машине реализуются, как правило, все способы измельчения, но главную роль играет тот, для которого она создана.



Раздавливание

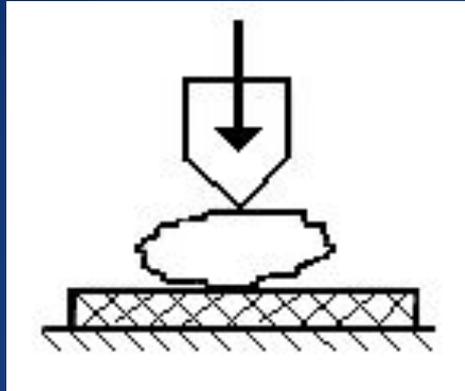
Тело под действием нагрузки деформируется по объему и, когда внутреннее напряжение в нем предел прочности по сжатию, разрушается. В результате такого разрушения получают

частицы

различных размеров и форм.
(Напряжения сжатия являются определяющими.)

Раскалывание

Тело разрушается на части в местах наибольших нагрузок, передаваемых рабочим элементом измельчителя. Образующиеся при этом частицы более

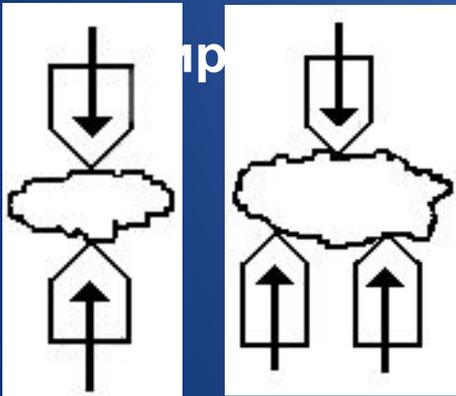


по размерам и форме, хотя форма, как и при раздавливании, непостоянна. Способ

раскалывания по

сравнению с раздавливанием позволяет

крупность получаемых частиц.

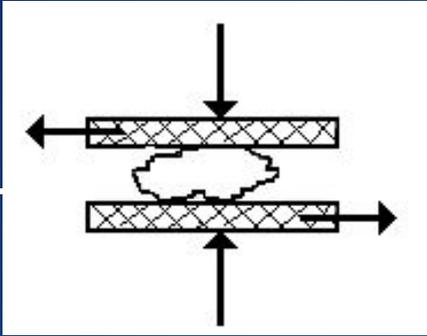


Разламывание

Тело измельчается под действием сжимающих, растягивающих и срезающих сил. При этом

получают

Истирание



Тело измельчается под действием сжимающих, растягивающих и срезающих сил. При этом

получается мелкий порошкообразный продукт.

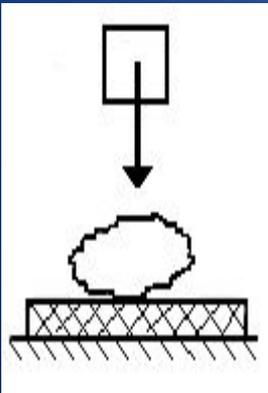
Истирание в комбинации с раздавливанием –

один

из наиболее экономичных способов

измельчения.

Удар – тело распадается на части под действием динамической

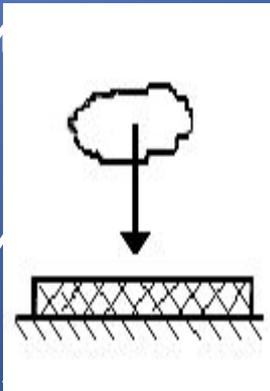


Различают свободный и направленный удар

Тело разрушается между двумя рабочими

органами измельчителя

Эффект такого разрушения зависит от кинетической энергии



и направленный удары.

Свободный удар

Разрушение тела наступает в

результате столкновения с рабочим органом или другим измельчаемым

Прочность твердых материалов оценивается пределом прочности при сжатии $\sigma_{сж}$. (Прочность – свойство твердого материала сопротивляться разрушению при возникновении внутренних напряжений, появляющихся в результате какого-либо нагружения). По величине $\sigma_{сж}$ измельчаемые материалы делят на:

- мягкие ($\sigma_{сж} < 80$ МПа);
- средней прочности ($80 < \sigma_{сж} < 150$ МПа);
- прочные ($150 < \sigma_{сж} < 250$ МПа);
- очень прочные ($\sigma_{сж} > 250$ МПа).

Хрупкость определяется на специальном копре числом ударов мерного груза. (Хрупкость – свойство твердого материала разрушаться без заметных пластических деформаций). По числу ударов, выдерживаемых образцами, материалы делят:

- на очень хрупкие (до 2);
- хрупкие (2...5);
- вязкие (5...10);
- очень вязкие (более 10).

Абразивность оценивают в граммах износа эталонных бил – стандартных стержней из незакалённой стали, отнесенных к одной тонне измельченного материала.

(Абразивность – способность перерабатываемого материала изнашивать рабочие органы машины).