

Представлены результаты исследований использования в контакт-деталях на основе серебра малотоксичной добавки оксида олова вместо токсичного оксида кадмия, который относится к первой группе токсичности.

Контакт-детали, коммутационные аппараты, плазма, электрическая дуга, энергия, электрическая эрозия.

The presented results of researches of the use are in pin details on the basis of silver, low-toxic addition of oxide of tin instead of toxic oxide of cadmium, that belongs to the first group of toxicity.

Pin –details, commutation apparatus, plasma, voltaic arc, energy, electrical erosion.

УДК 536.2.536.7

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РУЙНУВАННЯ (ПОДРІБНЕННЯ) ЧАСТОЧОК РІЗНОЇ ФОРМИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТА (РПА)

***В.Г. Горобець, доктор технічних наук
Д.В. Гескін, аспірант****

Обґрунтовано умови, що забезпечують подрібнення частинок матеріалу до відповідних розмірів. Отримано методичку, яка дозволяє оцінити витрати енергії на дезагрегацію дисперсних матеріалів. З'ясовано механізм дії робочих органів РПА на матеріал, що подрібнюється, і на підставі цього визначено умови гарантованого руйнування частинок різної форми.

Подрібнення, роторно – пульсаційний апарат, кавітація.

Подрібнення – один із найбільш давно відомих людині процесів. Однак, незважаючи на це, його теоретичні основи досі зазнають змін і ще до кінця не сформовані, що ускладнює розрахунок енерговитрат на його здійснення. Оскільки зазначений процес є енергоємним, то встановлення залежності між розмірами подрібнюваних і подрібнених частинок, а також витраченої на їх отримання енергії є актуальним завданням.

Мета досліджень – обґрунтування умов, що забезпечують гарантоване подрібнення частинок різної форми при взаємодії з робочими органами роторно-пульсаційного апарата та знаходження залежностей для оцінки енерговитрат при отриманні гомогенних сумішей.

Матеріали та методика досліджень. У різних галузях промисловості і, зокрема, в хімічній технології, існує велика потреба в тонкоподрібне-

* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець

© В.Г. Горобець, Д.В. Гескін, 2013

них матеріалах. При цьому подрібнення може грати як основну, так і допоміжну роль (наприклад, для інтенсифікації масообмінних процесів).

З ряду причин процес подрібнення доцільніше проводити в рідкій фазі. У цьому випадку відсутнє пилоутворення, яке істотно погіршує умови праці, а також під дією рідини, що змочується, в певній мірі знижується міцність подрібнюваного матеріалу, що дозволяє отримувати більш дрібні частинки із меншими витратами енергії. Як показує практика, при такій організації процесу найкращі результати досягаються в подрібнювачах, у яких до малого обсягу середовища, що обробляється, підводиться велика кількість енергії.

До такого обладнання належать апарати роторно–пульсаційного типу (РПА). Однак, незважаючи на численні роботи, присвячені обробці різних середовищ у РПА, процес подрібнення дисперсної твердої фази в такому обладнанні досліджений недостатньо повно. Ці роботи присвячені в основному аналізу гранулометричного складу оброблюваних частинок, у той час як за розрахунків енергії, що витрачається на подрібнення в апаратах такого типу, інформація практично відсутня.

Результати досліджень. Процес подрібнення матеріалів досить точно описується теорією П. Ріттингера, згідно з якою витрата енергії пропорційна площі новоствореної поверхні. З іншого боку відомо, що будь-яка зміна розмірів часток, у тому числі і подрібнення, призводить до зміни вільної (поверхневої) енергії системи $E_{\text{пов}}$ відповідно до рівняння У. Томсона:

$$\Delta E = 2\sigma V \left(\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_n} \right), \quad (1)$$

де σ – поверхневий натяг матеріалу що подрібнюється, на межі поділу з навколишнім середовищем, Дж/м²; V – об'єм подрібнюваного матеріалу, м³; r_k, r_n – кінцевий та початковий радіуси частинки чи агрегату.

У той же час, тільки частина енергії, що підводиться, $E_{\text{зовн}}$ витрачається безпосередньо на подрібнення. Припускаючи, що деяка частина енергії витрачається на збільшення поверхневої енергії подрібнених частинок із урахуванням щільності і маси матеріалу, що подрібнюється, рівняння (1) може бути подано у вигляді:

$$\frac{i\sigma}{3\rho_{TB}} (S_{\text{пит.к}} - S_{\text{пит.поч}}) = \frac{E_{\text{зовн}}\eta}{m_{\text{мс}}} = \varepsilon, \quad (2)$$

де i – ступінь подрібнення; ρ_{TB} – густина матеріалу, що подрібнюється, Кг/м³; $S_{\text{пит.к}}, S_{\text{пит.поч}}$ – відповідно кінцева та початкова питома площа поверхні, м²/м³; η – ККД. подрібнювача; $m_{\text{мс}}$ – маса матеріалу, що подрібнюється, кг.

Отримане рівняння (2) зручно для прикладних розрахунків, з його допомогою можна визначати витрати енергії на подрібнення дисперсного матеріалу. При обробці суспензій в апаратах роторно–пульсаційного типу виникає потреба в оцінці можливості гарантованого подрібнення частинок визначеної форми. Як приклад розглянемо подрібнення частинки у формі паралелепіпеда. На рисунку показана схема руйнування таких частинок у робочих органах РПА.

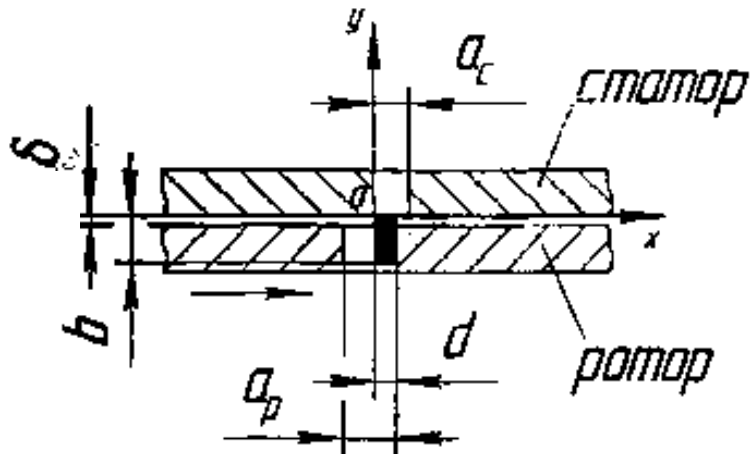


Схема руйнування частинок у формі паралелепіпеда

У зазначеному положенні “проскакування” частинок наймовірніше, оскільки вони знаходяться ближче, ніж інші до каналу статора. Частинки оброблюваного матеріалу можуть опинитися там завдяки транзитній течії в зазорі між ротором та статором, яка завжди має місце в апаратах такого типу.

Частинки, які не встигли зайняти зазначене положення внаслідок великої довжини каналу ротора, можуть опинитися в ньому при відкритті наступного каналу в напрямку обертання статора. З урахуванням мінімального гідравлічного опору, створюваного частинками матеріалу, приймемо, що ці частинки орієнтовані в каналі вздовж осі y . Приймемо також, що швидкість частинки дорівнює швидкості руху рідини (ковзання відсутнє). З рисунка видно, що рух частинки починається в той момент, коли її “лівий край вирівнюється за лівим краєм каналу статора, тому за точку відліку приймається точка O . Отримано аналітичний вираз для умови руйнування такої частинки, яке подано у вигляді:

$$\tau_x = \frac{(a_p + a_c - d - \sqrt{d^2 - \delta^2})}{2\pi n R_p} \quad \tau_y = \frac{(b - \delta)(d + a)cz}{2kn}, \quad (3)$$

де a_p – ширина каналу ротора, м; a_c – ширина каналу статора, м; d – характерний розмір частинок, м; δ – величина радіального зазору між ротором і статором; n – частота обертання ротора, об/хв; τ_x – час руху частинки вздовж осі x , с.; τ_y – час руху частинки вздовж осі y , с.; R_p – радіус ротора, м; b – довжина частинки, що подрібнюється, м; c – висота каналу, м; z – кількість одночасно відкритих каналів, шт.; k – емпіричний коефіцієнт.

Із співвідношення (3) випливає, що збільшення частоти обертання ротора РПА не призводить до зміни співвідношення між τ_x і τ_y , що може свідчити про переважно зсувний характер руйнування частинок.

Оскільки обробка в РПА відбувається в рідкому середовищі, то при певних умовах можливе виникнення кавітації. Цілком очевидно, що подрібнення дисперсних частинок можливе лише за певних співвідношень між їх розмірами і розмірами кавітаційних бульбашок. Діаметр кавітаційної бу-

льбашки в момент її «схлопування» не повинен перевищувати діаметр частинок, що подрібнюються, оскільки в цьому випадку кумулятивний струмінь, що утворився, не зможе бути сфокусований на її поверхні. Існує, мабуть, і нижня межа цього співвідношення, тому що із зменшенням розміру кавітаційної порожнини зменшується енергія, що виділяється бульбашкою. Тому, оцінити ефективність впливу на матеріал, що подрібнюється, можна за допомогою критерію кавітаційного подрібнення:

$$K_{подр} = \frac{d}{d_{\Pi}}; \quad (4)$$

$$\text{де } d_{\Pi} = 9\sqrt[3]{\frac{E_{зовн}}{33.8\pi p}}, \quad (5)$$

де n – кількість кавітаційних бульбашок, шт.; p – тиск, Па.

Для обчислення мінімальної енергії, необхідної для руйнування частинки, можна скористатися раніше отриманим рівнянням (2). З урахуванням формул (4) і (5) сформульовано умову (6), при виконанні якої буде виникати гарантоване кавітаційне руйнування частинки:

$$1 < K_{подр} < \frac{d}{9\sqrt[3]{\frac{E_{зовн}}{33.8\pi p}}}, \quad (6)$$

Отриманий раніше вираз (2) дозволяє визначити витрати енергії на дезагрегацію ультрадисперсних частинок. Оскільки безпосереднє вимірювання поверхневого натягу на міжфазній границі «агрегат-навколишнє середовище» неможливе, то зручніше за все пов'язати вказаний параметр з дзета-потенціалом ζ – найважливішим показником, який визначає агрегатну стійкість високодисперсних частинок. Залежність, що зв'язує між собою поверхневий натяг з дзета-потенціалом, можна записати у вигляді:

$$\sigma = \sigma_o - \frac{\pi \varepsilon_A \zeta^2}{r_H}, \quad (7)$$

де σ_o – міжфазний натяг на плоскій грані розподілу, Дж/м²; ε_A – абсолютна діелектрична проникність середовища, Ф/м.

Однак для деяких матеріалів в ультрадисперсному стані неможливо обчислити σ_o , оскільки вони просто не існують у звичайному (макроскопічному) стані, що пов'язано з особливостями їх синтезу. Тому, замість виразу (7) скористаємося рівнянням Г.І. Липпмана, що зв'язує між собою поверхневий натяг і поверхневий заряд частки (агрегату).

$$\frac{d\sigma}{dU} = q_{нов}. \quad (8)$$

Після деяких перетворень формули (8) отримаємо:

$$\sigma = \frac{\mu \nu_q U}{\zeta}, \quad (9)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості середовища, Па; ν_q – швидкість переміщення частинок, м/с; U – різниця потенціалів, В.

Таким чином, визначивши дзета-потенціал методом електрофорезу і розрахувавши за рівнянням (9) значення міжфазного натягу на межі «агрегат-дисперсійне середовище», можна за допомогою формули (2) визначити енергію, необхідну для його руйнування.

Отримані розрахункові залежності дозволяють оцінити витрати енергії на дезагрегацію ультрадисперсних матеріалів.

Висновки

Наведена методика дозволяє експериментально оцінити енерговитрати в процесі "мокрого" подрібнення в РПА і встановити ступінь впливу на них технологічних параметрів.

Тобто, при виробництві сумішей сільськогосподарського призначення застосування апаратури роторно–пульсаційного типу виявляється досить ефективним для інтенсифікації процесів тонкого диспергування твердої фази.

Список літератури

1. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий / А.А. Долинский // ИФЖ. – 1996. – Т. 69, №6. – С.45–50.

2. Исследование процесса измельчения частиц в роторно–пульсационном аппарате / О.С. Иванов, М.С. Василишин, В.Ю. Егоро А.Г. Карпов // Технологии и оборудование химической, биологической и пищевой промышленности: материалы всероссийской науч. – практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Бийск: БТИ АлтГТУ, 2008. – С.33 – 36.

3. Исследование процесса измельчения в роторно–пульсационном аппарате / А.Г. Карпов, М.С. Василишин, В.Ю. Егоров, О.С. Иванов // Перспективы создания и применения конденсированных высокэнергетических материалов: доклады 2-й науч.–техн. конф. молодых учёных. – Бийск: ИПХЭТ СО РАН, 2008. – С.6–9.

4. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества / М.А. Промтов. – М.:Машиностроение, 2004. – 93 с.

Обоснованы условия, обеспечивающие измельчение частиц материала до соответствующих размеров. Получена методика, которая позволяет оценить затраты энергии на дезагрегацию дисперсных материалов. Выяснено механизм действия рабочих органов РПА на измельчаемый материал, и на основании этого определены условия гарантированного разрушения частиц различной формы.

Измельчение, роторно-пульсационный аппарат, кавитация.

Justification provided to ensure grinding material particles in the appropriate size. Retrieved methodology to assess the energy consumption for disaggregation of dispersed materials. The mechanisms of action of RPA working on crushed material and on the basis of the conditions guaranteed destroyed particles of different shapes;

Grinding, rotary-pulse machine, cavitation.