

УДК 962-503.5

DOI 10.21661/r-560327

Дин Кай Цзянь

УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННАЯ ВЕСОВАЯ ПОДАЧА ПРИ ПОРЦИОННОМ ДОЗИРОВАНИИ НАНОПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в статье рассматриваются существующие способы и оборудование для дозирования порошковых материалов. На основе оценки погрешности объемных питателей определена необходимость использования вместо них весовых питателей: вибрационных питателей или питателей газовой взвеси порошков. Для дозирования сверхмалых порций порошков перспективным является использование питателей газовых взвесей порошков.

Ключевые слова: дозирование, сыпучие материалы, питатель, точность.

Ding Kai Jian

ULTRAPRECISE WEIGHT FEED AT BATCHING OF NANOPOWDER MATERIALS

Abstract: in the article the current ways and the equipment for batching of powder materials are considered. On the basis of an estimation of volume feeders accuracy authors revealed a necessity of use instead of them weight feeders: vibratory feeders or feeders of a suspension of powders in gas. There is perspective to use of feeders of suspensions of powders in gases for batching of ultra tiny portions of powders.

Keywords: batching, powder materials, feeder, accuracy.

Свойства нанопорошковых материалов существенно отличаются от свойств обычных порошков с микронными и субмикронными частицами [1–2]. Наиболее значимым с точки зрения дозирования отличием является существенно более высокая дисперсия плотности нанопорошков.

Главной причиной высокой дисперсии плотности нанопорошков является их малая насыпная плотность по сравнению с плотностью скелета порошка. Насыпная плотность нанопорошков обычно составляет не более 15–20% плотности скелета.

При хранении нанопорошка под действием его собственного веса происходит слеживание и слипание, в результате изменяется насыпная плотность. Если для порошков с размером частиц свыше 100 мкм среднеквадратичное изменение плотности обычно составляет не более 5–10%, то для нанопорошков – свыше 50%.

Указанные специфические свойства нанопорошков необходимо учитывать при разработке дозирующей системы. Оптимальная система для дозирования нанопорошков должна обладать минимальной чувствительностью к дисперсии плотности и сыпучести материала.

Обычно для сыпучих материалов с непостоянной плотностью используют весовое дозирование, т.е. дозирование, в котором контролируемым (с помощью измерительного устройства) параметром является вес (масса). В случае дозирования нанопорошковых материалов этого недостаточно.

Дозирующая система в общем случае состоит из питателя, измерительного устройства и устройства управления подачей материала [3]. В весовом дозаторе измерительное устройство контролирует текущее значение массы (веса). В частности, при порционном весовом дозировании измерительное устройство, отслеживающее текущее значение веса (массы), подает сигнал устройству управления подачей на отключение (при дозировании в один этап или при достижении полного значения порции) или изменение интенсивности подачи материала (при дозировании в несколько этапов).

Недостатком существующих весовых дозаторов является то, что основная их часть использует объемные питатели, расход которых определяется как объем материала за единицу времени. Шлюзовые, тарельчатые, шнековые, ленточные и многие другие питатели, широко используемые для подачи материала в дозирующих системах, являются объемными.

В весовых дозаторах, использующих объемные питатели, при управлении подачей предполагается пропорциональность объемного и массового расхода питателя. В действительности вследствие флуктуаций плотности подаваемого материала плотность материала в потоке непостоянна. Погрешность, возникающая в результате того, что подача материала осуществляется объемным способом, а

контролируется через измерение веса (массы), неустранима, поскольку отклонение плотности дозируемого материала заранее предсказать невозможно.

В качестве примера рассмотрим шнековый питатель – один из наиболее распространенных типов питателей, используемых для дозирования порошковых материалов. Массовую производительность питателя определяют по уравнению [4]:

$$Q = 15\pi n D^2 l \psi \varphi \rho, \text{ кг/ч} \quad (1)$$

где n – частота вращения ротора, об/мин; D – диаметр ротора, м; l – длина ротора, м; ψ – коэффициент использования ротора, φ – коэффициент заполнения, ρ – плотность (насыпная масса) дозируемого материала, кг/м³.

Коэффициенты использования и заполнения ротора, в свою очередь, определяются исходя из следующих зависимостей:

$$\varphi = \frac{\sum F_k}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad (2)$$

Где $\sum F_k$ – площадь сечения ячеек ротора, м;

$$\varphi = \frac{Q_{fact}}{Q_{teor}} = \frac{Q_{fact}}{\pi l \psi \left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Где Q_{fact} , Q_{teor} – фактическая и теоретическая объемные подачи за один оборот ротора.

Погрешность массового расхода подачи порошкового материала с помощью шнекового питателя в результате определяется непостоянством частоты вращения ротора, коэффициентов использования и заполнения ротора, а также плотности дозируемого материала.

При дозировании нанопорошков и других материалов с очень высокой дисперсией плотности представляется целесообразным использовать не только весовые измерительные устройства, но и весовые питатели, т.е. устройства, обеспечивающие заданный весовой расход материала независимо от плотности материала. Разнообразие весовых питателей не особенно велико. Наиболее перспективными являются две группы питателей.

К первой группе относятся вибрационные питатели [5]: лотковые вибропитатели и виброактиваторы. В этих питателях поступательное движение материала обеспечивается за счет создания колебаний, направленных под некоторым

углом к наклонному лотку или конусному виброднищу. В качестве приводов вибропитателей используются механизмы, обеспечивающие возвратно-поступательное движение: электромагнитный и пневматический шариковый электропривод, вращающиеся дебалансы и др.

Вибропитатели в настоящее время являются одним из наиболее распространенных типов питателей, применяемых для подачи порошковых материалов с самыми различными физико-механическими свойствами (сыпучестью, адгезионными и когезионными свойствами, средним размером и фракционным составом частиц дозируемого порошка). Погрешность подачи материала с использованием вибропитателей колеблется в весьма широких пределах. Для прецизионных питателей характерна допустимая погрешность 0,25–0,5% (масс.).

Точность подачи склонного к слеживанию сыпучего материала может быть увеличена при использовании вибропитателя, показанного на рис. 1 [8]. Для расслоения подаваемого материала служит установленный на рабочей поверхности лотка клиновой рассекатель, который выполнен в виде набора параллельных пластин, расположенных с зазором. При работе питателя пластины рассекателя также совершают колебательные движения и предупреждают образование комков материала в загрузочной точке, увеличивая точность подачи.

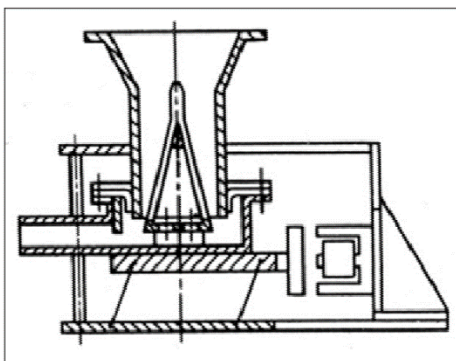


Рис. 1

Расчет производительности вибрационных питателей проводится по формуле [6]:

$$Q_M = \gamma B h V, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

Где B – ширина лотка, м ; h – высота слоя материала на лодке, м ; γ – насыпная масса материала, кг/м³ ; V – средняя скорость материала, м/с.

Величина средней скорости движения материала на лотке может быть определена по известной формуле (для частоты колебаний n более 1700 об/мин):

$$V = K A_{\text{л}} \omega \cos \beta \quad (5)$$

где $K = K_1 + K_2 \sin \alpha$; $\omega = \frac{\pi n}{30}$; K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от свойств материала, определяемые из эксперимента; $A_{\text{л}}$ – амплитуда колебаний лотка, м; ω – угловая частота, с⁻¹; α – угол наклона лотка, град; β – угол между плоскостью колебаний и лотком питателя, град.

Часто конструкция реализована таким образом, что углы α и $\pi - \beta$ равны, т.е. колебания происходят в горизонтальной плоскости. Поскольку коэффициенты K_1 и K_2 трудно установить с высокой точностью, то требуемую производительность обеспечивают за счет корректирования исходного угла наклона лотка. Далее, в процессе работы питателя угол наклона обычно не изменяют, а регулирование осуществляют за счет изменения частоты колебаний, амплитуды или сечения потока материала.

В случае дозирования нанопорошков часто требуется дозировать сверхмалые порции (граммы, а в ряде случаев – тысячные или даже миллионные доли грамма). Для дозирования сверхмалых порций нанопорошков перспективным является использование питателей газовых взвесей порошков [7–9]. В питателях этой группы ультрадисперсный порошковый материал смешивается с воздухом или (при высокой химической активности порошка) инертным газом. С помощью специальных устройств смесь преобразуется во взвесь с заданной плотностью. Контроль плотности взвеси осуществляется в основном оптическими средствами (нефелометрами или турбидиметрами) в соответствии с заданным соотношением оптической прозрачности взвеси и ее плотности. По мере уменьшения плотности взвеси повышается точность измерения ее плотности, а следовательно, сокращается погрешность ее подачи. В настоящее время достижимая погрешность подачи взвеси нанопорошка карбида вольфрама в воздухе составляет 0,5% при

расходе 0,05 г/с и мутности взвеси 10 NTU (примерно соответствует содержанию порошка 6 мг/л).

В настоящее время питатели газовых взвесей порошков практически не применяются. Это обусловлено слабой проработанностью теоретических аспектов поведения частиц нанопорошка в газе. Кроме того, настоятельная необходимость в использовании таких питателей сформировалась лишь в последние годы в связи с развитием нанотехнологий и расширением применения нанопорошков [10–12]. В ближайшие годы следует ожидать повышения внимания ведущих мировых производителей дозирующего оборудования к питателям указанного типа.

Выводы.

1. В ультрапрецизионных дозирующих системах для нанопорошков необходимо вместо традиционных объемных питающих устройств использовать весовые питатели.

2. Наиболее перспективными питающими устройствами для прецизионной подачи нанопорошковых и иных мелкодисперсных порошковых материалов являются вибрационные питатели и питатели газовых взвесей порошков.

3. В случае дозирования сверхмалых порций нанопорошков необходимо использовать питатели, обеспечивающие сверхмалую интенсивность подачи материала. Такими свойствами обладают питатели газовых взвесей нанопорошков.

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Технологии нанообработки: учебное пособие / С.Н. Григорьев, А.А. Грибков, С.В. Алешин. – Старый Оскол: ТНТ, 2008. – 320 с.

2. Панов В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувилин. – М.: МИСИС, 2001. – С. 148–150.

3. Григорьев С.Н. Дозирование порошковых материалов при производстве твердосплавного инструмента: монография / С.Н. Григорьев, А.А. Грибков. – М.: МГТУ «Станкин», 2010. – 377 с.

4. Каталымов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Каталымов, В.А. Любартович. – Л.: Химия: Ленинградское отделение, 1990. – 240 с.

5. Григорьев С.Н. Определение общих требований к точности элементов дозирующей системы / С.Н. Григорьев, А.А. Грибков // Технология машиностроения. – 2010. – №3. – С. 37–39.
6. Грибков А.А. Автоматизация и управление высокоточного порционного дозирования порошковых материалов: монография / А.А. Грибков. – М.: МГТУ «Станкин», 2011. – 236 с.
7. Грибков А.А. Повышение точности и производительности автоматизированных систем весового порционного дозирования материалов / А.А. Грибков // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – 2010. – №9. – С. 61–65.
8. Григорьев С.Н., Грибков А.А. Дискретное и непрерывное адаптивное управление интенсивностью подачи материала при поэтапном порционном весовом дозировании / С.Н. Григорьев, А.А. Грибков // Автоматизация и современные технологии. – 2011. – №4. – С. 3–5.
9. Метель А.С. Тлеющий разряд с электростатическим удержанием электронов: физика, техника, применения / А.С. Метель, С.Н. Григорьев. – М., 2005. – 296 с.
10. Григорьев С.Н. Разработка технологии нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент на основе минералокерамики и кубического нитрида бора / С.Н. Григорьев, В.Г. Боровский // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – №3. – С. 5–6.
11. Григорьев С.Н. Современное вакуумно-плазменное оборудование и технологии комбинированного упрочнения инструмента и деталей машин / С.Н. Григорьев // Технология машиностроения. – 2004. – №3. – С. 20–26.
12. Метель А.С. Заполнение рабочей камеры технологической установки однородной плазмой с помощью стационарного тлеющего разряда / А.С. Метель, С.Н. Григорьев, Ю.А. Мельник [и др.] // Физика плазмы. – 2009. – Т. 35. №12. – С. 1140–1149.

Дин Кай Цзянь – канд. техн. наук, профессор, Технологический университет Китая, Китайская Народная Республика.

Ding Kai Jian – Candidate of Technical Sciences, Professor, Technological University of China. People's Republic of China.