Поточная порошковая ячейка: грануляция для преодоления расслоения порошковой смеси корма для животных

Сегрегация порошков приводит к различным нежелательным эффектам, таким как колебания концентрации, неоднородность или летучая пыль во время переноса порошка. Промышленные смеси часто состоят из нескольких порошков, различающихся по форме, размеру и химической природе. В этих смесях часто нелегко избежать сегрегации. Гранулирование часто используется, чтобы нейтрализовать эти различия, производя заполнители, с которыми легче иметь дело. В этом отчете порошковая смесь сначала характеризуется в порошковой ячейке с воздушным псевдоожижением в отношении ее чувствительности к сегрегации, а затем гранулируется на месте с помощью специально разработанного инжектора и мешалки. После сушки в условиях циркуляции сухого воздуха в ячейке еще раз охарактеризовали чувствительность к сегрегации, чтобы оценить влияние грануляции и сравнить порошковую смесь с визуальными наблюдениями.

Рисунок 1: Поточная порошковая ячейка, установленная на модульном компактном реометре (MCR) от Антон Паар.

1 Введение

Сегрегация порошков является источником некоторых нежелательных эффектов, таких как неоднородность концентрации, летучие пыли, несоответствие когезии и т. д. Сегрегация может иметь место, когда продукт состоит из порошков с различным химическим составом, плотностью, распределением частиц по размерам или формой частиц. Наличие влаги также может изменить или усилить сегрегацию.
Сегрегацию порошков можно оценить в поточной порошковой ячейке от Антон Паар путем расчета увеличения крутящего момента, необходимого для вращения крыльчатки в массе порошка до и после этапа интенсивного псевдоожижения. Перед псевдоожижением зарегистрированный крутящий момент отражает возможность перемещения необработанного порошка с заданной скоростью. Этап псевдоожижения контролируется расходомером ячейки.

Поток воздуха устанавливается достаточно высоким, чтобы спровоцировать отмывание внутри корпуса (если порошок реагирует на этот механизм). Следовательно, мелкая фракция порошка в основном осаждается на поверхности насыпи, а крупные опускаются на дно (рис. 2). Затем крутящий момент для вращения той же крыльчатки в массе, что и раньше, обычно выше, чем крутящий момент перед этапом псевдоожижения. Качественный анализ возможен, если посмотреть на увеличение крутящего момента — большее увеличение означает, что образец более склонен к сегрегации. Затем этот протокол можно использовать каждый раз, когда необходимо оценить чувствительность к сегрегации.

Рисунок 2: Слева: порошок с однородным распределением частиц в исходном состоянии до расслоения. Справа: после разделения потоком циркулирующего воздуха объемная масса показывает две отдельные популяции частиц.

Способ уменьшить или избежать склонности к сегрегации состоит в том, чтобы гранулировать порошковую смесь с жидким связующим. Различные процессы могут привести к грануляции порошков. В данном отчете использовалась грануляция с введением жидкого связующего внутрь корпуса с механическим перемешиванием порошка.

В верхней части порошковой камеры была установлена индивидуальная система впрыска. Жидкое связующее было заполнено в резервуаре под давлением, установленном наверху инжектора, для достижения тонкого распыления связующего. Инжектор приводился в действие электроникой для достижения точного времени открытия с полностью регулируемым объемом и схемой впрыска. Специально разработанная винтовая мешалка, полученная с помощью 3D-печати SLA, использовалась для достижения адекватного механического перемешивания массы с целью оптимизации распределения влажного порошка (рис. 3).

Рисунок 3: Индивидуальный пакет для грануляции с управляемым инжектором и мешалкой.

Эта работа иллюстрирует, как можно использовать поточную порошковую ячейку и индивидуальную установку грануляции для быстрой оценки влияния связующего и грануляции на сегрегацию необработанного порошка.

2 Условия испытания и Настройки

2.1 Образцы

В этом отчете использовался один образец порошка премикса промышленного корма для животных. Порошок состоял из различных питательных веществ, витаминов и фармацевтических добавок, растворимых в воде. 80 г порошковой смеси было введено в потоковую порошковую ячейку.

2.2 Реометр

Для этого исследования использовался реометр Anton Paar MCR, оснащенный поточной порошковой ячейкой.

Для полной характеристики образцов использовались следующие комбинированные методы:

- Сегрегацию определяли путем измерения увеличения крутящего момента вращающейся стандартной двухлопастной мешалки в массе порошка до и после стадии псевдоожижения и подтверждали визуально.

Скорость вращения мешалки была установлена на 8 об/мин, на несколько миллиметров ниже поверхности сыпучего материала.

- Флюидизацию проводили при объемной скорости потока 2 лн/мин в течение 15 минут. Воздушный поток проходил через весь слой порошка снизу сквозь пористую донную пластину в ячейке. Двухлопастная мешалка поддерживала скорость вращения 8 об/мин на дне емкости во время псевдоожижения для повышения однородности распределения воздуха в массе.

- Гранулирование осуществлялось с использованием воды в качестве связующего, вводимого в количестве 7,5 % от общей массы порошка. Воду вводили импульсами по 40 мкл каждые 4 секунды в течение 10 минут. Винтовая мешалка специальной конструкции вращалась со скоростью 50 об/мин в течение 20 минут после завершения впрыска воды для завершения перемешивания и грануляции.

3 Результаты и Выводы

3.1 Свойства необработанного порошка

Степень сегрегации необработанного порошка оценивали путем сравнения крутящего момента у поверхности массы до и после стадии псевдоожижения. Порошок сначала засыпали в порошковую ячейку и гомогенизировали путем вращения лопасти со скоростью 120 об/мин в течение 120 с (рис. 2, слева). Регистрировали крутящий момент, необходимый для вращения двухлопастной мешалки непосредственно под поверхностью насыпи. Затем была вызвана сегрегация путем полного псевдоожижения образца потоком воздуха в течение 15 минут (рис. 2, справа). Затем снова измеряли крутящий момент вблизи поверхности.

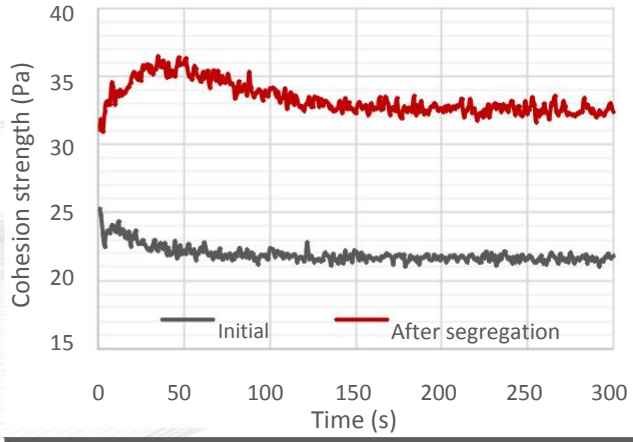

Рисунок 4: Прочность когезии на поверхности массы порошка для необработанного порошка (исходное состояние показано серым цветом, после сегрегации показано красным цветом).

На рис. 4 показана сила когезии, полученная при измерении крутящего момента непосредственно под поверхностью до и после этапа сегрегации.

Измеренная прочность когезии составила 22,5 Па до расслоения и 32,5 Па после расслоения. Это значительное увеличение на 45 % показывает, насколько сильно сегрегация также изменила поведение образца в потоке, что также подтверждает визуальное наблюдение на рисунке 2.

3.2 Гранулирование и Сушка

Для экспериментов по грануляции мешалку заменили с двухлопастной на винтовую ленточную. Скорость вращения была установлена на 50 об/мин. Относительная влажность (воздуха) в ячейке регистрировалась микродатчиком, расположенным на высоте 5 см над поверхностью порошка, рядом с верхним отверстием порошковой ячейки.

Жидкое связующее впрыскивали в течение 10 минут, но перемешивание порошка винтовой мешалкой продолжали в течение получаса для завершения процесса грануляции. Показания крутящего момента и влажности показаны на рис. 5.

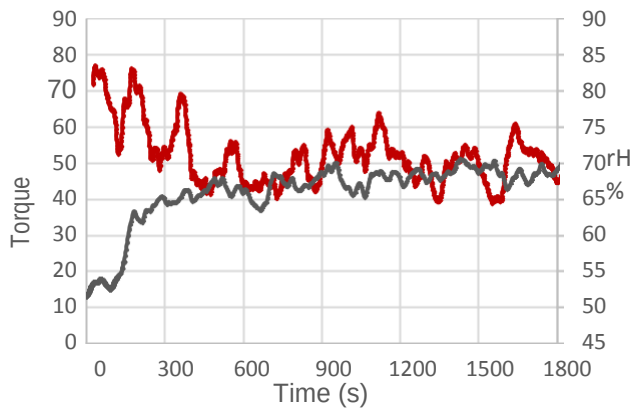

Рисунок 5: Крутящий момент (красный) и отн. влажность над поверхностью порошка (серый) на этапе грануляции.

Кривая крутящего момента была немного зашумлена из-за сложной схемы перемешивания в ячейке, а также из-за того, что некоторые зерна порошка скользили между винтовой мешалкой и стенкой.

Интересное наблюдение заключалось в том, что крутящий момент уменьшался по мере введения связующего. При этом уровень влажности воздуха повышался, а затем стабилизировался до конца процесса.

Затем порошок высушивали с помощью слабого потока сухого воздуха, нагнетаемого на дно ячейки. Уровень относительной влажности на этом этапе показан на рис. 6. Через несколько часов относительная влажность больше не снижалась, что указывает на стабилизацию сухого состояния массы.

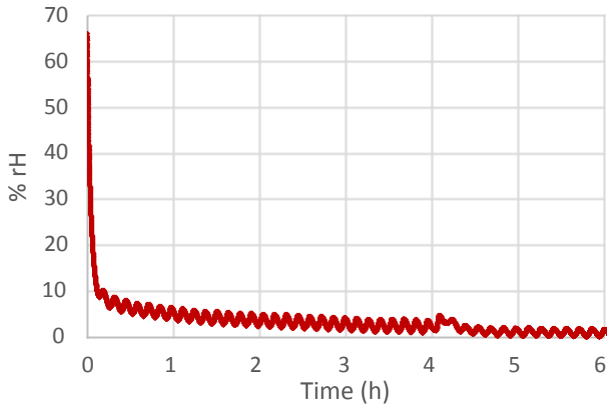

Рисунок 6: Уровень относительной влажности на этапе сушки, зарегистрированный в верхней части ячейки (воздух, выходящий из порошковой массы).

3.3 Свойства гранулированного порошка

Испытание на сегрегацию (проведенное в разделе 3.1) повторяли после грануляции и сушки с измерением когезионной прочности до и после стадии псевдоожижения. Однако на этот раз оно проводилось на гранулированном сухом порошке (кривые измерения не показаны).

Было обнаружено, что для гранулированного порошка разница в силе когезии до и после индуцированной сегрегации составляет -2 %, что указывает на то, что в образце произошла лишь небольшая сегрегация.

С другой стороны, предварительно измеренный (см. раздел 3.1) необработанный порошок показал повышение когезионной прочности на 45 %. Изменение когезионной прочности необработанного и гранулированного порошка показано на рис. 7. На рис. 8 наглядно показано, как изменяется сегрегация образца во время грануляции.

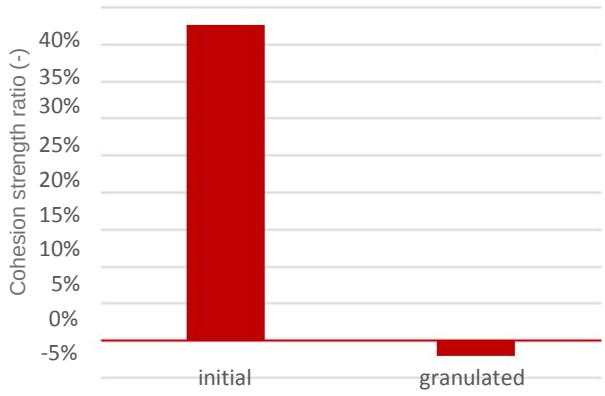

Рисунок 7: Сравнение коэффициентов когезионной прочности необработанного и гранулированного порошка в верхней части порошкового слоя. Отношение было получено путем сравнения прочностикогезии до и после сегрегации.

Рисунок 8: Визуальное наблюдение расслоения до, во время и после грануляции.

Наконец, был проведен анализ размера частиц, чтобы также количественно оценить процесс грануляции (рис. 9).

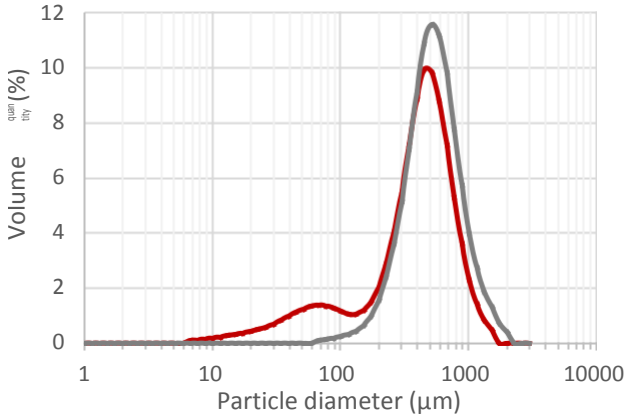

Рисунок 9: Распределение частиц по размерам до (красный) и после (серый) грануляции.

Анализ размера частиц подтвердил агрегацию фракции мелких частиц с более крупными частицами, слегка изменив средний диаметр распределения в сторону более крупных частиц.

4 Заключение

Склонность необработанного порошка к сегрегации была легко определена благодаря способности поточной порошковой ячейки одновременно выполнять измерения псевдоожижения и крутящего момента.

Специально изготовленные инструменты для грануляции (инжектор и винтовая ленточная мешалка) обеспечивают эффективное перемешивание порошка и введение связующего вещества, что приводит к контролируемому гранулированию порошка.

Склонность порошка к расслаиванию была успешно подавлена процессом грануляции, как показали визуальные наблюдения, измерения когезионной прочности и анализ размера частиц.

Поточная порошковая ячейка, установленная на реометре и оборудованная для грануляции, представляла особый интерес для этих типов исследований, поскольку в них используется лишь относительно небольшое количество порошка и поскольку они допускают каждый этап процесса (начальная гомогенизация, испытание на сегрегацию путем отмывания, гранулирование, сушка) происходить в одной ячейка. Таким образом, манипуляции с порошком были сведены к первоначальной заливке и окончательной экстракции, что обеспечивает заметный комфорт для пользователя.