Anton Paar

Реология сухого молока

1 Введение

Срок хранения молока может быть значительно увеличен путем его сушки. Различия в сырье (например, в цельном молоке, обезжиренном молоке), а также в вариациях процесса позволяют получать большое разнообразие готовых продуктов. Это включает, среди прочего, смесь для детского питания, сухое обезжиренное молоко, казеиновый порошок, порошок сывороточного белка и порошок лактозы.

Сухое молоко производится в несколько этапов обработки, которые дают различные технологические проблемы. Обычно молоко сначала нагревают в вакууме, что позволяет испарять воду при низких температурах и в результате получается молочный концентрат. За этим обычно следует стадия распылительной сушки, на которой молочный концентрат распыляют на мелкие капли под потоком горячего воздуха в большой башне для распылительной сушки. После извлечения из колонны, наступает заключительный этап сушки, в котором горячий воздух продувается через флюидизированный слой порошка [1].

Поскольку сухое молоко является когезивным, часто возникают проблемы, когда порошок выгружается из распылительных сушилок или контейнеров для хранения, в результате чего происходит нежелательное перекрытие или задержание потока. Когезивность также имеет решающее значение для конечной стадии сушки, поскольку она влияет на текучесть и, таким образом, на количество энергии, необходимое для флюидизации сухого молока.

Порошковая ячейка Антон Паар позволяет проводить различные измерения, применимые как для контроля качества, так и для исследований, чтобы предвидеть проблемы, упомянутые выше. В настоящем исследовании представлены и обсуждены методы определения когезии Уоррена Спринга и измерения угла трения о стенки сухого молока.

2 Условия испытания

2.1 Образцы

Для данного исследования анализируют смесь для детского питания (Pre Anfangsmilch, Bebivita GmbH, Reisgang, Германия) и порошок обезжиренного молока (Magermilchpulver, Schwarzwaldmilch GmbH, Offenburg, Германия). На рис. 1 показан макроскопический вид обоих образцов.

Рис. 1 Образцы сухого молока: смесь для детского питания (слева) и сухое обезжиренное молоко (справа).

2.2 Измерительная установка

Измерения проводятся с помощью модульного компактного реометра Антон Паар (MCR), оборудованного порошковой ячейкой. На рис. 2 показана ячейка, установленная в реометре, и измерительное стекло (боросиликатное стекло, покрытое оксидом индия и олова), заполненное порошковым образцом.

Рис. 2 Порошковая ячейка с образцом в MCR с выставленной опорной плитой (WESP).

2.3 Измерения когезии Уоррена Спринга

Когезия Уоррена Спринга измеряется для характеристики поведения потока, то есть момента, когда начинает слипаться когезивный порошок [2]. Воспроизводимость метода обеспечивается пробоподготовкой, которая осуществляется воздухопроницаемым поршнем. Поршень сжимает порошок с определенным нормальным напряжением (здесь 9 кПа). Воздух удаляется через пористый материал поршня и создается однородный порошковый слой. Впоследствии геометрия Уоррена Спринга (рис. 3) проникает в образец порошка и сдвигает его со скоростью вращения 0,1 об / мин. В конце концов, сдвиг нарушает когезию порошка и тот начинает течь. Эта точка определяется как максимальное значение крутящего момента и представляет собой так называемую когезию Уоррена Спринга.

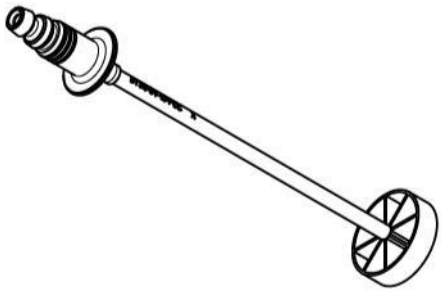

Рис. 3 Схематическое изображение геометрии Уоррена Спринга.

2.4 Измерения угла трения о стенки

Определение угла трения о стенки φ выполняется с помощью измерительной системы, снабженной дискообразной насадкой (диаметр 49 мм). Измерения выполняются как из материала нержавеющей стали, так и с насадкой, покрытой политетрафторэтиленом (PTFE, Teflon®). Образцы сжимаются с нормальным напряжением 3, 6 и 9 кПа, и напряжение сдвига измеряется для каждого нормального напряжения с постоянной скоростью вращения 0,05 об / мин. Затем строится линия тренда напряжения сдвига над кривой нормального напряжения (рис. 4). Угол, который эта линия тренда образует с осью X при перехвате с началом координат, является углом трения о стенки.

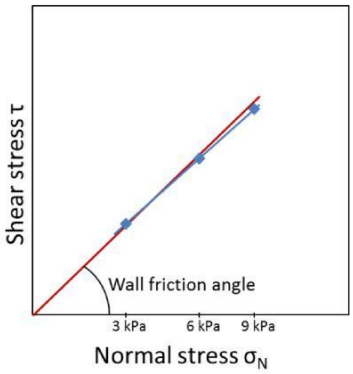

Рис. 4 Расчет угла трения о стенки с использованием линии тренда напряжения сдвига по кривой нормального напряжения.

Угол трения о стенки в значительной степени определяет, может ли порошок выгружаться из бункера равномерно. Как показано на рис. 7, можно ожидать два различных типа потока [3]:

- Внутренний поток: материал задерживается на стенках бункера, и только часть, расположенная в ядре контейнера, легко выгружается; это проблематично, потому что приводит к типу разгрузки «первый-последний-последний» и, таким образом, к очень неравномерному смешиванию разных порций порошка.
- Поток массы: весь материал выгружается равномерно. Это желательная схема потока.

3 Результаты и Выводы

3.1 Макроскопическая оценка качества образца

Визуальная оценка двух образцов порошка показывает четкие различия (рис. 1). Детская смесь выглядит более тонкой и сыпучей, чем сухое обезжиренное молоко, которое образует агрегаты и кажется более когезивным.

Сухое обезжиренное молоко содержит очень мало жира (<0,1%) и в основном состоит из казеина, на который приходится от 70 до 80% белков коровьего молока. Поскольку казеин трудно усваивается младенцами, молочная смесь обычно имеет пониженное содержание казеина и обогащена сывороточными белками, которые лучше усваиваются [4]. Казеин имеет низкую растворимость и легко образует агрегаты [5], что может объяснить макроскопические различия, наблюдаемые между нашими образцами. Однако нельзя исключать, что обогащенное содержание лактозы в формуле, а также ее многочисленные немолочные добавки (растительные масла, витамины и минералы) также способствуют наблюдаемым различиям.

3.2 Результаты измерения когезии Уоррена Спринга

На рис. 5 показаны результаты измерений Уоррена Спринга. Образцы сжимаются с 9 кПа до сдвига. Смесь для детского питания имеет среднее значение когезии Уоррена Спринга 5,72 ± 0,24 Па, а сухого обезжиренного молока 2,24 ± 0,05 Па. Результат смеси для детского питания намного выше, чем у сухого обезжиренного молока, что указывает на то, что для флюидизации детской смеси требуется значительно большее усилие, чем для сухого обезжиренного молока.

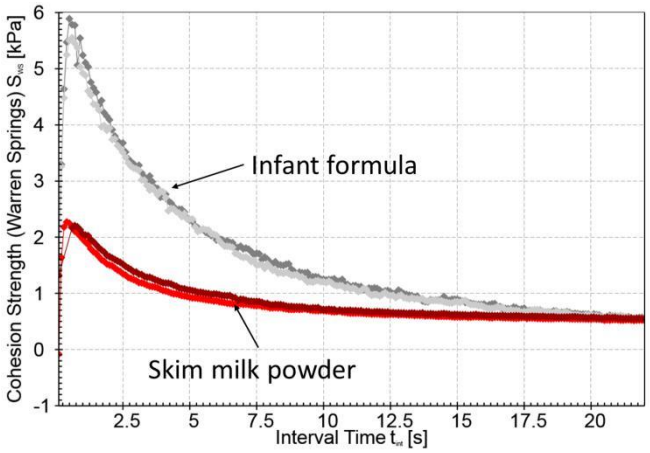

Рис. 5 Результаты когезии Уоррена Спринга для сухого обезжиренного молока и детской смеси с уплотненным напряжением 9 кПа.

3.3 Результаты измерений трения о стенки

На рис. 6 показаны результаты измерений трения о стенки. Крутящий момент представлен за интервал времени для детской смеси и сухого обезжиренного молока с нормальным напряжением 9 кПа (результаты для 3 и 6 кПа не показаны) с использованием геометрии с покрытием из ПТФЭ. Чем больше угол трения о стенки, тем больше трение стенки.

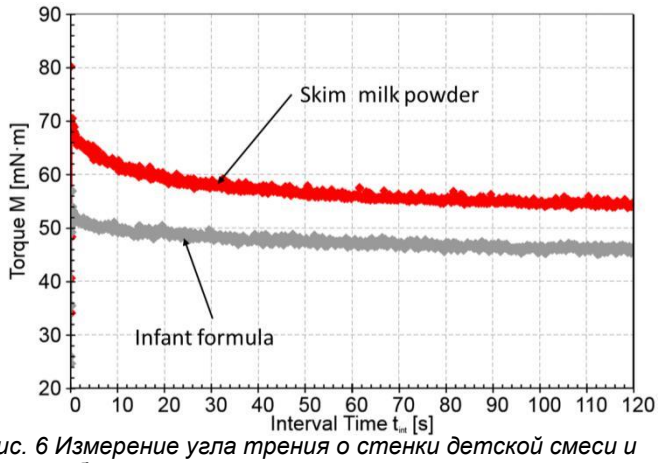

Рис. 6 Измерение угла трения о стенки детской смеси и сухого обезжиренного молока при нормальном напряжении 9 кПа и использовании геометрии с покрытием из ПТФЭ.

Записанный сигнал крутящего момента для сухого обезжиренного молока значительно и непрерывно выше, чем у смеси для детского питания, и, таким образом, указывает, что обезжиренное молоко имеет большее трение о стенку.

В таблице 1 приведены рассчитанные углы трения о стенки для обоих образцов с использованием нержавеющей стали или ПТФЭ в качестве материала для стен. Порошок обезжиренного молока демонстрирует очень сильное скольжение о стенки при измерении с геометрией из нержавеющей стали, что приводит к углу трения о стенки 57°, в то время как расчетный угол составляет только 25° с геометрией ПТФЭ. Это указывает на то, что контейнеры с покрытием из ПТФЭ гораздо лучше подходят для хранения и переработки сухого обезжиренного молока, чем контейнеры из нержавеющей стали. То же самое явление наблюдается для детской смеси, причем для нержавеющей стали (24,6°) регистрируются более высокие углы трения о стенки, чем для ПТФЭ (22°). В целом, формула показывает уменьшенное трение о стенки по сравнению с сухим обезжиренным молоком, в соответствии с результатами, показанными на рис. 6.

Таблица 1: Расчетные углы трения о стенки для сухого обезжиренного молока и смеси для детского питания с использованием геометрии с покрытием из нержавеющей стали и ПТФЭ.

	Нержавеющая сталь [°]	PTFE [°]
Детская смесь	24.6 ± 0.2	22.0 ± 1.8
Сухое молоко	57.0 ± 0.0	25.0 ± 0.8

Результаты обусловлены различной шероховатостью и химическим составом обеих поверхностей. Используемая здесь нержавеющая сталь показывает величину шероховатости 2,26 мкм, тогда как PTFE показывает очень гладкую поверхность в дополнение к фторидному полимеру, на который не прилипает большинство веществ. Как показано на рис. 7, измеренный угол трения о стенки, взятый вместе с углом воронки, можно использовать для прогнозирования массового или внутреннего потока для данного порошка.

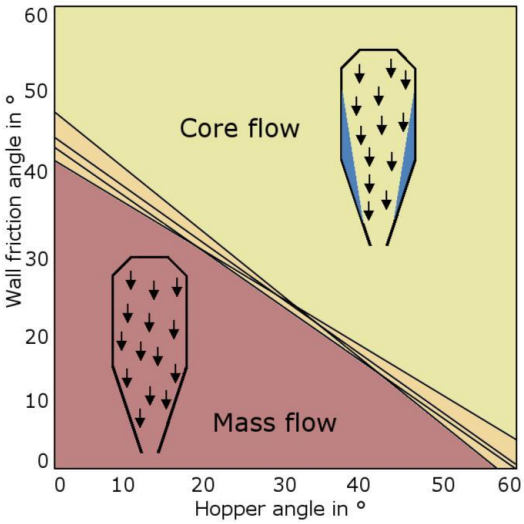

Рис. 7 Внутренний поток vs Поток массы зависимости от угла трения о стенки и угла воронки - модифицировано по Дженике [3]

4 Заключение

Порошковая ячейка Антон Паар позволяет проводить различные реологические измерения для характеристики сухого молока. Когезия Уоррена Спринга может быть использована как мера текучести для когезионных порошков и, следовательно, может применяться для контроля качества. Угол трения о стенки может быть определен для различных материалов [6]. Здесь мы показываем, что смесь для детского питания обладает большей когезией, чем сухое обезжиренное молоко, и поэтому ее сложнее разжижать. Это может повлиять на некоторые этапы сушки и / или пропускную способность пневматической системы. И наоборот, смесь для детского питания имеет более низкий угол трения о стенки, чем сухое обезжиренное молоко, и, таким образом, будет более равномерно выгружаться из резервуаров или бункеров. Эти различия предположительно связаны с биохимическим составом образцов, причем количественные и качественные изменения в содержании белка, вероятно, играют основную роль. Результаты могут быть использованы для оптимизации различных процессов производства, транспортировки и хранения сухого молока.

5 Источники

[1] Pearce, K.N. (2000). Milk Powder. Food Science Section, New Zealand Dairy Research Institute.

[2] Mohammed, A. et al. (2011). Measuring powder flowability with a modified Warren Spring cohesion tester. Par-ticology, 9:148-154.

[3] Jenike, A.W (1961). Gravity flow of bulk Solids. Bulletin of the University of Utah, 52:29.

[4] Rudloff, S. & C. Kunz (1997). Protein and non protein nitrogen components in human milk, bovine milk, and infant formula: quantitative and qualitative aspects in infant nutrition. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 24:328-344.

[5] Baldwin, AJ (2010). Insolubility of milk powder products - A minireview. Dairy Science & Technology, EDP sci-ences/Springer, 90:2-3.

[6] Schulze, D. (2008). Powders and Bulk Solids: Behaviour, Characterization, Storage and Flow. Springer Berlin-Heidelberg.

Контакты:
ООО «АВРОРА» - эксклюзивный дистрибьютор Anton Paar в России
paar@avrora-lab.com
www.paar.ru
+7-(495)-258-83-05/-06/-07