

Измерение вязкости керамических суспензий с помощью ротационного реометра RheolabQC

Anton Paar RheolabQC делает реологические проверки рутинными и простыми. В этом отчете показано применение в керамической промышленности и продемонстрировано на примере каолиновых суспензий, как реологические параметры, такие как предел текучести и вязкость, помогают описать важные характеристики для транспортировки и переработки суспензий.



1 Введение

Характеристики переработки и транспортировки суспензии сильно зависят от ее реологических свойств. Поэтому важно знать реологические параметры, особенно при транспортировке большого ее количества.

В этом отчете описывается измерительный метод для реологической оценки суспензии. Кривая течения используется для представления потока в трубе, сопротивления потоку и разницы давлений.

2 Условия испытания

2.1 Образцы

Каолин: гидрат силиката алюминия $Al_4(OH)_8 [Si_4O_{10}]$

Каолин (фарфоровая глина) представляет собой силикат калия минерального каолинита. Он образуется при разложении и преобразовании силикатных пород. Чистый каолин белоснежный. В смеси с кварцем или ледяным шпатом имеет серо-желтый цвет (сырой каолин, каолиновый песок). Каолин, образовавшийся в результате выветривания гранита и ледяного шпата, можно найти во многих местах по всему миру.

Добывается методом мокро-химической флотации с последующей очисткой.

Основными компонентами каолина являются SiO_2 (35 %) и Al_2O_3 (46 % - 49 %). Значение pH около 5.

Размер частиц составляет от 2 мкм до 20 мкм. Плотность частиц составляет около $2,6 \text{ г/см}^3$. Образец, исследованный для этого отчета, представлял собой суспензию каолина с объемной концентрацией твердых веществ 10 % в воде.

2.2 Условия испытания

Все измерения проводились с помощью реометра Anton Paar RheolabQC с цилиндрической измерительной системой CC27, подвергнутой пескоструйной обработке, в соответствии со стандартом ISO 3219. Поверхность, обработанная пескоструйной обработкой, снижает эффект соскальзывания со стенки. ISO 3219 описывает конструкцию геометрии цилиндра и определяет отношение диаметра мерной чашки к диаметру измерительного боба. Это гарантирует промышленный стандарт среза образца в измерительном зазоре, независимо от размера измерительной системы и производителя.



Рисунок 1: Реометр RheolabQC с C-PTD 180/AIR/QC

При измерении глины необходимо учитывать следующие моменты:

- Измерительная система CC27 может использоваться с образцами с частицами размером менее 100 мкм.
- Если средний размер частиц значительно превышает 100 мкм, мы рекомендуем использовать лопастную геометрию с 4 вертикальными лопастями, например, ST22/4V/40 в мерной чашке CC27.
- Уникальная температурная система Пельтье C-PTD180/AIR/QC обеспечивает быстрый и точный контроль температуры для измерений в диапазоне от 0°C до 180°C
- Программное обеспечение RheoCompass™ можно использовать для применения заданных температурных профилей во время измерения. Это позволяет легко исследовать температурно-зависимое поведение образцов, т.е. в диапазоне температур от 5 °C до 40 °C, с постоянной скоростью нагрева 2 K/мин и постоянной скоростью сдвига 100 с⁻¹.

2.3 Настройка измерения в программном обеспечении

Тест может выполняться автономно на приборе или под управлением программного обеспечения RheoCompass™. Профиль измерения имеет один интервал:

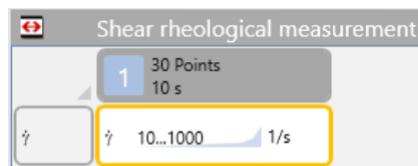


Рисунок 2: Профиль измерения

Интервал 1: Логарифмическое изменение скорости сдвига от 10 с⁻¹ до 1000 с⁻¹ с 30 точками измерения и продолжительностью точки измерения 10 с.

3 Результаты и Выводы

Функция вязкости описывает поведение потока при различных скоростях сдвига. Если течение предполагается ламинарным и стационарным, скорость сдвига на стенке трубы (b) и напряжение сдвига на стенке трубы (c) можно рассчитать с помощью соотношения Хагена-Пуазейля (a):

$$(a) \Delta p = \frac{8\eta \cdot L \cdot Q}{\pi \cdot R^4} \quad (b) \dot{\gamma}_w = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3} \quad (c) \tau_w = \frac{R \cdot \Delta p}{2 \cdot L}$$

W = pipe wall; L = pipe length; Q = volumetric flow or flow rate; R = pipe radius

Уравнение 1 a/b/c: соотношение Хагена-Пуазейля для расчета перепада давления (a), скорости сдвига (b) и напряжения сдвига (c) на стенке трубы.

Эти формулы можно свести к следующему:

Перепад давления в трубе прямо пропорционален напряжению сдвига: $\Delta p \approx \tau_w$

Описание процесса течения, начиная с состояния без какого-либо движения:

Чтобы перекачивать или сдвигать суспензию, необходимо преодолеть ее структурные силы (закон упругости Гука). В реологии это начальное «статическое трение» часто называют «пределом текучести». Для преодоления предела текучести требуется непропорционально большое количество энергии. Это показано в таблице 1:

Объемный расход суспензии 6,5 л/мин в трубе длиной один метр приводит к перепаду давления $\Delta p = 1663$ Па/м.

Увеличение объемного расхода в десять раз, т.е. до 65 л/мин, дает $\Delta p = 2137$ Па/м. Это означает прирост всего на 28%.

Скорость сдвига	Объемный расход трубы Q с D = 48 мм	Перепад давления на 1 м длины трубы
2 с ⁻¹	1.3 л/мин	1513 Па/м
10 с ⁻¹	6,5 л/мин	1663 Па/м
50 с ⁻¹	33 л/мин	2005 Па/м
100 с ⁻¹	65 л/мин	2137 Па/м
200 с ⁻¹	130 л/мин	2313 Па/м

Таблица 2: Скорость сдвига, объемный расход и перепад давления на один метр длины трубы.

Взаимосвязь между объемным расходом и перепадом давления становится ясной, если мы более внимательно наблюдаем за напряжением сдвига (рис. 3). При низких скоростях сдвига и малом объемном расходе напряжение сдвига и перепад давления Δp в трубе уже относительно высоки ($\Delta p = 1663$ Па/м при 10 с⁻¹). Увеличение объемного расхода Q в трубе требует лишь незначительного дальнейшего увеличения перепада давления. Это связано с поведением сдвигового утоньшения (псевдопластическим) суспензии, то есть снижением вязкости с увеличением скорости сдвига.

Свойства текучести в состоянии «почти покоя», т.е. в начале процесса перекачивания или во время выравнивания, можно определить при низких скоростях сдвига. Предел текучести 12 Па был рассчитан с использованием модели Гершеля-Балкли (НВ). Это дает перепад давления $\Delta p = 1000$ Па/м (табл. 2).

Рассчитанный предел текучести	Диаметр трубы D	Δp на 1 м длины трубы
12 Па	48 мм	1000 Па/м

Таблица 2: Предел текучести и начальный перепад давления на одном метре трубы при горизонтальном и ламинарном течении.

Пока предел текучести не будет достигнут, сопротивление и давление в трубе увеличиваются пропорционально без существенного выходного расхода.

Лучшие характеристики насоса могут быть получены за счет снижения предела текучести. Слишком высокий предел текучести делает невозможным возобновление процесса перекачивания. Суспензия останавливается в трубе.

При производстве раствора с поведением сдвигового утоньшения производительность насоса может быть увеличена без значительного увеличения требуемой энергии. Вязкость образца должна значительно уменьшаться с увеличением объемного расхода.

На реологические свойства можно влиять, изменяя состав суспензии, т.е. объемную концентрацию (количество воды), добавки (твердые вещества, полимеры, жидкости), размер частиц и температуру перекачки.

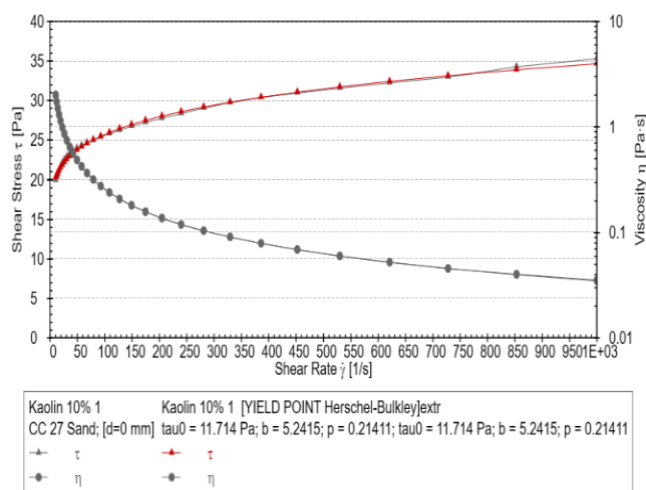


Рисунок 3: Кривая течения и вязкости с подгонкой кривой и расчетом предела текучести с использованием модели Гершеля-Балкли. Процедура анализа и автоматический профиль измерения являются частью пакета инструментов и программного обеспечения RheolabQC.

4 Заключение

Было показано, что ротационный реометр RheolabQC с цилиндрической измерительной системой с пескоструйной обработкой CC27 в соответствии с ISO 3219 очень полезен для контроля процесса перекачки и для определения характеристик суспензий. Помимо измерения кривых течения и вязкости, также можно рассчитать предел текучести, например, по модели Гершеля-Балкли. Измерение предела текучести и функции вязкости дает важную информацию для лучшего понимания того, как суспензия течет по трубам. Это также помогает решить проблемы с продуктами, которые трудно перекачивать.