



Рис. VI.12. Схема установки для измерения вязкости с помощью капиллярного вискозиметра:

1, 3 — двухходовые краны; 2 — ресивер; 4 — моностат; 5 — манометр; 6 — трехходовой кран; 7 — вискозиметр; 8 — термостат

это показано на рис. VI.12. В системе создают требуемое разрежение, для чего используют вакуумный насос. Предварительно проверяют положение кранов установки: краны 1 и 3 должны быть закрыты, а кран 6 находится в положении «вакуум» (вискозиметр соединен с атмосферой). Включают насос (на рис. VI.12 не показан), открывают кран 1 и в системе создают требуемое давление, которое контролируют по манометру 5 (давление регулируют с помощью крана 3). Давление можно снизить, поворачивая трехходовой кран 6 в положение «атмосфера». Установив нужное давление, краны 1 и 3 закрывают, а насос выключают.

С помощью резиновой груши засасывают жидкость в вискозиметре выше отметки *a* в правом колене (см. рис. VI.11), а трубку, надетую на это колено, зажимают пальцами. Переводят кран 6 в положение «вискозиметр» (при этом вискозиметр соединяется с системой вакуума) и тут же разжимают резиновую трубку. Жидкость при этом перетекает из правого колена вискозиметра в левое. По секундомеру фиксируют время, в течение которого жидкость проходит расстояние от верхней отметки *a* до нижней отметки *b*, т. е. определяют время истечения постоянного объема жидкости *V* через капилляр вискозиметра.

После прохождения уровня жидкости через отметку *b* кран 6 переводят в положение «вакуум», в противном случае жидкость из вискозиметра попадает в вакуумную систему.

Порядок выполнения работы

Для проведения работы необходимы:

- установка для измерения вязкости;
- секундомер;
- воронка;

- резиновая груша;
- раствор полимера (например, желатины) или гидрозоль (например, $\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Вискозиметр заполняют дистиллированной водой и определяют время истечения τ при давлении 50–60 см столба манометрической жидкости. Далее проводят измерения при других давлениях, уменьшая его каждый раз примерно на 5 см столба жидкости (всего проводят 7–8 измерений).

Аналогичные измерения проводят для растворов полимера (гидрозолей), только для них измерения следует начинать с наименьших давлений (~10–15 см столба манометрической жидкости).

После окончания работы вискозиметр промывают дистиллированной водой с помощью водоструйного насоса. Полученные результаты записывают в таблицу (табл. VI.1).

Таблица VI.1. Результаты измерения времени истечения с помощью капиллярного вискозиметра

Вода			Раствор полимера (гидрозоль)			
Δp , Па	τ , с	$1/\tau$, с ⁻¹	Δp , Па	τ , с	$1/\tau$, с ⁻¹	η , Па·с

По данным табл. VI.1 строят кривые течения для воды и раствора полимера (или гидрозоля) в координатах $1/\tau - \Delta p$ и находят для раствора полимера (или гидрозоля) предельное напряжение сдвига по Бингаму P_T (в Н/м²). Используя справочные данные о вязкости воды (см. таблицу I в приложении), по тангенсу угла наклона кривой течения для нее находят константу k в уравнении (VI.10) и по этому уравнению рассчитывают значения η раствора полимера (или гидрозоля) как функцию Δp . Для раствора полимера (или гидрозоля) строят графики в координатах $\eta - \Delta p$.

Работа 30

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ С ПОМОЩЬЮ РОТАЦИОННОГО ВИСКОЗИМЕТРА

Цель работы:

изучение реологических свойств высококонцентрированных суспензий пылевидного кварца при помощи ротационного вискозиметра; построение кривых течения и

эффективной вязкости; определение зависимости предела текучести и пластической вязкости суспензий от концентрации дисперсной фазы; определение первой критической концентрации структурообразования; расчет прочности единичных контактов и критического диаметра частиц.

Для определения реологических характеристик дисперсных систем наиболее часто используют ротационные вискозиметры, которые характеризуются широкими пределами измерений и высокой воспроизводимостью результатов. Рабочий узел таких вискозиметров обычно представляет собой систему коаксиальных цилиндров (в современных приборах также часто используется измерительная система конус—плоскость), в зазор между которыми помещается исследуемая система. Обычно наружный цилиндр является неподвижным, а внутренний цилиндр (ротор) может совершать вращательное движение.

Все конструкции ротационных вискозиметров делятся на два типа: в одних выдерживается постоянная скорость деформации ($\dot{\gamma} = \text{const}$), в других — напряжение сдвига ($P = \text{const}$). В приборах, работающих в режиме $\dot{\gamma} = \text{const}$, ротор вращается с постоянной скоростью, увлекая за собой исследуемую систему, при этом динамометрическое устройство, связанное с ротором, фиксирует величину сдвигового напряжения. Такие вискозиметры в настоящее время получили наибольшее распространение. В приборах с постоянным напряжением сдвига к ротору прикладывается постоянный крутящий момент и регистрируется угловая скорость его вращения, пропорциональная скорости деформации исследуемой системы.

Данные реологических измерений позволяют определить прочность единичных контактов \bar{F}_1 , формирующихся между частицами в дисперсных системах. Для этого применяют различные модельные представления о строении структуры. Для суспензий наиболее часто используют модель, предложенную Е.Д. Яхниным, в которой принимается, что структура представляет собой трехмерную решетку из агрегированных частиц. В соответствии с этой моделью величина \bar{F}_1 рассчитывается по следующему уравнению:

$$\bar{F}_1 = \frac{P_T d^2 \rho (\rho - \rho_0) (\varphi_{\text{max}} - \varphi_{cr1}) (\varphi_{\text{max}} - \varphi)}{\rho_{\text{max}}^2 (\varphi - \varphi_{cr1})}, \quad (\text{VI.11})$$

где P_T — предел текучести системы; d — средний размер частиц; φ — концентрация дисперсной фазы суспензии, выраженная в объемных долях; φ_{max} — концентрация, соответствующая плотной упаковке частиц; φ_{cr1} — первая критическая концентрация структурообразования; ρ — плотность дисперсной фазы; ρ_0 — плотность дисперсион-

ной среды; ρ_{max} — плотность суспензии при максимально плотной упаковке частиц φ_{max} .

Плотность суспензии при максимально плотной упаковке частиц ρ_{max} рассчитывается по уравнению:

$$\rho_{\text{max}} = \rho \varphi_{\text{max}} + \rho_0 (1 - \varphi_{\text{max}}). \quad (\text{VI.12})$$

Дисперсные системы с коагуляционными структурами в большинстве случаев являются седиментационно устойчивыми, поскольку в них частицы связаны друг с другом коагуляционными контактами. Более того, такие структурные сетки могут препятствовать седиментации не связанных с ними посторонних частиц. Такая посторонняя частица под действием силы тяжести оказывает определенное давление на структурную сетку. В том случае, если это давление превышает предел текучести, то частица будет разрушать структуру и седиментировать. Если же это давление меньше величины P_T , частица будет задерживаться структурой и фиксироваться в объеме системы. Существует понятие критического размера частиц d_{cr} . При размерах $d > d_{cr}$ частицы разрушают структуру и седиментируют, при $d < d_{cr}$ — фиксируются в объеме системы. Значение d_{cr} может быть рассчитано по формуле:

$$d_{cr} = \frac{3P_T}{(\rho - \rho_c)g}, \quad (\text{VI.13})$$

где ρ — плотность седиментирующих частиц; ρ_c — плотность суспензии; g — ускорение свободного падения.

Порядок выполнения работы

Для проведения работы необходимы:

- ротационный вискозиметр;
- секундомер;
- весы с точностью до 0,1 г;
- пипетка на 10 мл с делениями;
- керамические стаканы емкостью 50–100 мл;
- шпатель;
- пылевидный кварц;
- 0,5 %-й раствор водорастворимого полимера, например, натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ).

Вариант 1.

Готовят суспензии пылевидного кварца в растворе NaКМЦ общей массой 25 г с массовыми концентрациями дисперсной фазы: 68, 70, 72 и 74 % (концентрации могут быть изменены по указанию

преподавателя). Суспензии тщательно перемешивают шпателем. Исследуемую суспензию переносят во внешний цилиндр вискозиметра и проводят измерения эффективной вязкости при последовательно увеличивающихся нагрузках. Полученные экспериментальные и расчетные данные заносят в таблицу (табл. VI.2).

Таблица VI.2. Экспериментальные и расчетные данные реологических измерений

№ образца	Концентрация дисперсной фазы суспензий, % (мас.)	Напряжение сдвига P , Н/м ²	Скорость деформации $\dot{\gamma}$, с ⁻¹	Эффективная вязкость η , Н·с/м ²

По полученным данным для всех суспензий строят реологические кривые течения $\dot{\gamma} = f(P)$ и эффективной вязкости $\eta = f(P)$. Для каждой суспензии, экстраполируя линейный участок кривой течения до пересечения с осью абсцисс, определяют величину предела текучести P_T . По котангенсам углов наклона линейных участков кривых течения находят значения пластической вязкости η^* . Строят графики зависимостей P_T и η^* от концентрации дисперсной фазы суспензий, выраженной в объемных долях.

Объемную долю дисперсной фазы φ рассчитывают по формуле:

$$\varphi = \frac{m/\rho}{m/\rho + m_0/\rho_0}, \quad (\text{VI.14})$$

где m и m_0 — масса дисперсной фазы и дисперсионной среды в образце.

Для исследуемых суспензий принимаем, что $\rho = 2,7$ г/см³ и $\rho_0 = 1,0$ г/см³. Расчетные реологические параметры суспензий заносят в таблицу (табл. VI.3) и проводят анализ полученных результатов.

Таблица VI.3. Реологические параметры суспензий

№ образца	Объемная концентрация дисперсной фазы суспензий φ , об. доля	Предел текучести P_T , Н/м ²	Пластическая вязкость η^* , Па·с

Вариант 2

Экспериментальная часть работы проводится в соответствии с вариантом 1, только в этом случае приготавливают шесть образцов с массовыми концентрациями дисперсной фазы: 68; 69; 70; 72; 73 и 74 %

(концентрации могут быть изменены по указанию преподавателя). Для всех суспензий строят кривые течения $\dot{\gamma} = f(P)$ и эффективной вязкости $\eta = f(P)$. Экстраполируя линейные участки кривых течения до пересечения с осью абсцисс, определяют значения пределов текучести P_T (для каждой суспензии). Строят график зависимости P_T от концентрации дисперсной фазы суспензий, выраженной в объемных долях [см. формулу (VI.14)], принимая, что для исследуемых суспензий $\rho = 2,7$ г/см³ и $\rho_0 = 1,0$ г/см³. Экспериментальные данные и расчетные реологические параметры суспензий заносят в таблицы (см. табл. VI.2 и табл. VI.3).

Экстраполяцией зависимости $P_T = f(\varphi)$ до пересечения с осью абсцисс определяют первую критическую концентрацию структурообразования φ_{cr1} . Для всех образцов суспензий по уравнениям (VI.11) и (VI.13) рассчитывают значения прочности единичных контактов \bar{F}_1 и критических диаметров d_{cr} частиц. Плотность суспензий ρ_c вычисляют по уравнению (VI.12), только в этом случае вместо φ_{max} подставляют значения φ . Для суспензий пылевидного кварца принимаем, что $d = 5 \cdot 10^{-6}$ м и $\varphi_{max} = 0,64$. Полученные результаты заносят в таблицу (табл. VI.4). Строится график зависимости $\bar{F}_1 = f(\varphi)$ и делаются выводы о типе контактов между частицами.

Таблица VI.4. Влияние концентрации дисперсной фазы суспензий на прочность единичных контактов и величину критического размера частиц

№ образца	Объемная концентрация дисперсной фазы суспензий φ , об. доля	Прочность единичного контакта \bar{F}_1 , Н	Критический диаметр частиц d_{cr} , м

Работа 31

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ВЯЗКОСТЬ С ПОМОЩЬЮ РЕОВИСКОЗИМЕТРА

Цель работы:

получение реологических кривых для растворов полимера при различных концентрациях; определение предельных напряжений сдвига; построение зависимостей минимальной вязкости растворов полимеров и предельного напряжения сдвига от концентрации полимера.