

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций

СИНТЕЗ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРУКТУР КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Теория структуры строительных композитов,
синтез и конструирование структур»
для студентов, обучающихся по направлению
«Химия, физика и механика материалов»

Воронеж 2013

УДК 666.97 (07)
ББК 38.3я7

Составители: Е.М. Чернышов, Г.С. Славчева, А.И. Макеев

Синтез и конструирование структур конгломератных строительных композитов [Текст] : метод. указания к выполнению лаб. работ / Воронежский ГАСУ; сост. Е.М. Чернышов, Г.С. Славчева, А.И. Макеев. – Воронеж, 2013. – 25 с.

Содержат краткие теоретические сведения о составе, структуре и свойствах конгломератных строительных композитов. Раскрывают методику поуровневого конструирования структуры этих материалов, обеспечивающего получение задаваемых эксплуатационно-технических характеристик.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Химия, физика и механика материалов».

Ил. 1. Табл. . Библиогр.: назв.

УДК 666.97 (07)
ББК 38.3я7

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского ГАСУ*

Рецензент – С.С. Глазков, д.х.н., проф. кафедры химии Воронежского ГАСУ

ВВЕДЕНИЕ

Практически все неметаллические строительные материалы можно отнести к классу конгломератных композитов, структура которых – это многоуровневая иерархически организованная система, каждый масштабный уровень которой представляет собой двухкомпонентное образование из пространственно непрерывной матрицы и детерминированно-стохастически распределенных в ней дискретных включений. Это многофазные, многокомпонентные, гетерогенные, полиструктурные, полидисперсные, дефектные, одновременно детерминированные и стохастические материалы. Главной проблемой конгломератных строительных композитов является низкий уровень использования потенциала силовых структурных связей в их работе под нагрузкой.

Ключевая рабочая идея теории синтеза и конструирования оптимальных структур заключается в возможности повышения эффективности материала путем целенаправленного формирования такой его структуры (системы связей), которая обеспечивала бы максимально полное использование силового и энергетического потенциала этих связей в его работе в процессе эксплуатации.

В предлагаемом цикле лабораторных работ по дисциплине «Теория структуры строительных композитов, синтез и конструирование структур» студент должен:

- 1) изучить основные закономерности взаимосвязи между составом, структурой и свойствами композиционных строительных материалов последовательно по масштабным уровням их структуры;
- 2) изучить методику проектирования составов композиционных строительных материалов в зависимости от задаваемых параметров структуры.

Подготовка к каждой лабораторной работе включает изучение лекционного материала в соответствии с перечнем контрольных вопросов, представленных в настоящих методических указаниях.

По выполненным лабораторным работам составляется отчет, который защищается перед преподавателем. В отчете необходимо представить:

- 1) название работы;
- 2) цель работы;
- 3) перечень используемого оборудования и материалов;
- 4) методику выполнения работы;
- 5) результаты работы в виде необходимых расчетов, таблиц, графических зависимостей;
- 6) выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ СЕПАРАЦИЯ МИКРОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: освоить методику седиментационного способа разделения микродисперсных материалов на микро-, ультрамикро- и нанодисперсии; получить набор таких фракций для дальнейшего использования в опытах.

Оборудование и материалы:

- 1) микродисперсный рыхлосыпучий материал (пылевидная фракция песка, отсева дробления, хвостов обогащения и т.п.);
- 2) дистиллированная вода;
- 3) резиновые трубки;
- 4) спринцовки;
- 5) пластиковые емкости вместимостью от 0,5 до 5 л;
- 6) нож;
- 7) шкаф сушильный;
- 8) весы электронные.

Краткие теоретические сведения

Необходимость и возможность механического разделения (сепарации) частиц микродисперсного материала (порошкообразного, пылевидного) по размерам обусловлена представлениями о том, что такое разделение будет сопровождаться и его разделением по химическому составу, минералогии и морфологии. Соответственно, разные микрофракции будут играть разную роль в процессах структурообразования строительных материалов. Такой подход открывает новые перспективы получения высококачественных строительных материалов за счет максимально эффективного использования структурообразующего потенциала микрофракций.

Седиментационный метод сепарации микрофракций основан на закономерностях осаждения твердофазовых дисперсных частиц в жидкой дисперсионной среде, при котором частицы одинаковой плотности, но разного размера и массы осаждаются под действием силы тяжести с разной скоростью, описываемой уравнением Стокса:

$$\omega_{oc} = \frac{d^2(\rho - \rho_c)g}{18\mu_c}, \quad (1.1)$$

где ω_{oc} – скорость осаждения, м/с, шарообразной частицы диаметром d , м; ρ и ρ_c – плотность частицы и дисперсионной среды соответственно, кг/м³; μ_c – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с (кг/(м·с)).

Зная высоту и время осаждения частиц, по преобразованной формуле Стокса (1) можно оценить ориентировочные размерные границы фракций:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu_c h}{(\rho - \rho_c)g\tau}}, \quad (1.2)$$

где h – высота осаждения, м; τ - время осаждения, с.

На основе зависимости (1.2) при необходимости можно решить и противоположную задачу – назначение длительности осаждения в зависимости от требуемого размера выделяемых частиц:

$$\tau = \frac{18\mu_c h}{d^2(\rho - \rho_c)g}. \quad (1.3)$$

На закономерностях осаждения частиц по закону Стокса основано множество седиментометрических методов анализа гранулометрического состава тонкодисперсных порошков, в том числе и метод отмучивания, при котором происходит разделение исследуемого порошка на фракции по граничным задаваемым размерам. Методом многоступенчатого многократного отмучивания и осуществляется седиментационная сепарация микродисперсных материалов.

Содержание работы

Отвешивают навеску микродисперсного материала массой 50...100 г и помещают ее в пластиковую емкость. Емкость заполняют дистиллированной водой и энергично взбалтывают до образования однородной суспензии. Суспензия отстаивается в течении 1 мин (до окончания процесса интенсивного осаждения), после чего ее с помощью резиновой трубки перекачивают в другую емкость для отстаивания в течении времени, определенном по формуле (1.3). Если определенных задаваемых ограничений по размерам нет, рекомендуется эту операцию повторять последовательно через 10 мин, 1 час, 24 часа и 1 неделю от момента смешивания.

Оставшийся после осаждения осадок вновь смешивают с дисперсионной средой и отмучивание повторяют до тех пор, пока суспензия не будет полностью осветляться в принятые сроки осаждения. Таким способом достигается более качественное отделение мелких частиц от крупных по граничным размерам.

Каждую пластиковую емкость с оставшимся осадком снабжают биркой с указанием срока седиментации (от момента смешивания с водой), обрезают и устанавливают в сушильный шкаф. Осадок высушивают при температуре 103 ± 2 °С до постоянной массы, периодически перемешивая и разрыхляя. Высушенный материал аккуратно ссыпают в герметичную тару.

Лабораторная работа №2

ПОДБОР ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОФАЗОВЫХ МАКРОВКЛЮЧЕНИЙ

Цель работы: освоить методику подбора гранулометрического состава твердофазовых включений максимально плотной упаковки с использованием активного планирования эксперимента.

Оборудование и материалы:

- 1) весы электронные;
- 2) весы торговые;
- 3) пикнометр;
- 4) прибор для определения насыпной плотности;
- 5) набор сит;
- 6) формы-кубы 10×10×10 см,
- 7) формы-балочки 40×40×160 мм,
- 8) рыхлозернистый материал с размером зерна ≤ 10 мм;
- 9) вяжущее (цемент, гипс).

Краткие теоретические сведения

Твердофазовые включения (заполнители и наполнители) в структуре конгломератных строительных композитов выполняют функции несущего скелета, воспринимающего внешнюю механическую нагрузку, препятствуют усадочным деформациям капиллярно-пористого матричного материала. Большое значение при формировании свойств конгломератного композита имеет показатель межзерновой пустотности системы сложения включений. Увеличение плотности упаковки включений способствует:

а) уменьшению расхода цементирующей связки, что обеспечивает наибольшую экономичность материала, поскольку энергозатраты на получение включений на несколько порядков ниже, чем на вяжущие;

б) снижению водопотребности, водоотделения, расслаиваемости сырьевой смеси;

в) увеличению плотности, прочности и однородности затвердевшего конгломерата, что обеспечивает большую эксплуатационную надежность изделия.

Обеспечить минимальную пустотность можно путем подбора гранулометрического (фракционного) состава включений, чтобы зерна более мелкой фракции попадали в пустоты, образующиеся при укладке более крупных частиц. Причем заполнение пустот должно быть максимальным, но в то же время исключить раздвижку зерен предшествующих фракций. В промышленных ус-

ловиях таким способом удается получать трех- четырехфракционные смеси с объемом пустот менее 20-25 %.

Выполнение работы

1. Определение плотности зерен включений

Плотность зерен включений с незначительной пористостью допускается приблизительно оценивать пикнометрическим методом. Навеску каждой фракции материала массой 10...30 г высыпают в предварительно взвешенный пикнометр. Пикнометр взвешивают вместе с навеской, заполняют водой до метки и вновь взвешивают. Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, заполняют водой до метки и взвешивают.

Плотность зерен материала ρ_z , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{жид}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \quad (2.1)$$

где m_1 - масса пикнометра, г;

m_2 - масса пикнометра с навеской, г;

m_3 - масса пикнометра с навеской и жидкостью, г;

m_4 - масса пикнометра с жидкостью, г;

$\rho_{жид}$ - плотность жидкости, г/см³.

Для определения плотности проводят не менее 2-х испытаний и вычисляют среднее арифметическое из полученных результатов. Результаты эксперимента заносят в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты определения плотности зерен включений

Фракция, мм	m ₁ , г	m ₂ , г	m ₃ , г	m ₄ , г	ρ _z , г/см ³ (кг/м ³)

2. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности

Насыпную плотность зернистых включений определяют с помощью воронки в виде конуса с заслонкой в нижней части. Под воронку ставят заранее взвешенный мерный сосуд емкостью 1 дм³ (1 л). В воронку засыпают предварительно высушенную фракцию включений, открывают заслонку и с высоты 10 см заполняют сосуд с избытком. Уплотняют смесь постукиванием сосуда о поверхность стола. Металлической линейкой срезают излишек материала вровень

с краями сосуда и взвешивают. Насыпную плотность ρ_n в г/см³ рассчитывают по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (2.2)$$

где m_1 - масса сосуда, г;

m_2 - масса сосуда с материалом, г;

V - объем сосуда, см³.

Межзерновую пустотность $П_{мз}$ для рыхлозернистых и порошкообразных материалов рассчитывают, %, по формуле

$$П_{мз} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_3}\right) \cdot 100. \quad (2.3)$$

Результаты определения заносят в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты определения насыпной плотности
и межзерновой пустотности гранитных отсевок

Фракция, мм	m_1 , г	m_2 , г	V , см ³	ρ_n , г/см ³ (кг/м ³)	ρ_3 , г/см ³ (кг/м ³) (табл. 2.1)	$П_{мз}$, %

3. Определение среднего размера частиц включений

Средний диаметр частиц каждой фракции рассчитывается по формуле, предложенной И.Н. Ахвердовым:

$$d_{cp} = \frac{2d_1d_2}{d_1 + d_2}, \quad (2.4)$$

где d_1 и d_2 – наибольший и наименьший размер фракции соответственно.

Для стандартного набора сит (при $d_1 = 2d_2$) $d_{cp} = 4/3d_2$.

Также можно воспользоваться формулой, принятой западными стандартами (С. Weymouth):

$$d_{cp} = \sqrt[3]{\frac{2d_1^2d_2^2}{d_1 + d_2}}. \quad (2.5)$$

Результаты расчетов заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Расчетные средние диаметры фракций гранитного отсева

Фракция, мм	d _{ср} , мм		
	по формуле (2.1)	по формуле (2.2)	

4. Подбор состава двухфракционной смеси с минимальной пустотностью

Подбор состава двухфракционной смеси осуществляют методом двухфакторного эксперимента. В качестве первого варьируемого фактора X_1 принимают соотношение размеров $d_{ср1} : d_{ср2}$. Диапазон варьирования X_1 принимают исходя из литературных данных от 4 до 10. Уровни варьирования X_1 представлены в табл. 2.4. Требуемого среднего размера частиц фракции добиваются путем отсева рядового исходного материала на ситах, диаметр ячеек которых устанавливается из соотношения (2.4) или (2.5). Для каждой полученной фракции определяют плотность в зерне, насыпную плотность и межзерновую пустотность в соответствии с п. 1...2 данной лабораторной работы. Результаты испытаний заносят в табл. 2.1...2.3.

В качестве второго варьируемого фактора X_2 , оказывающего наибольшее влияние на пустотность двухфракционной смеси, принимают коэффициент наполнения K_n :

$$K_n = V_{Фр2} / V_{ПФр1}, \quad (2.6)$$

где $V_{Фр2}$ – объем мелкой фракции, л;

$V_{ПФр1}$ - объем межзерновых пустот крупной фракции, л, определяемый по формуле:

$$V_{ПФр1} = V_{Фр1} \cdot П_{Фр1}, \quad (2.7)$$

где $V_{нФр1}$ – объем крупной фракции, принимается равным 2 л;

$П_{Фр1}$ – пустотность фракции.

Уровни варьирования X_2 представлены в табл. 2.4. экспериментальные точки факторного пространства (план эксперимента) представлены в табл. 2.5.

Чтобы обеспечить требуемую величину коэффициента наполнения K_n , расходы первой $M_{Фр1}$ и второй $M_{Фр2}$ фракции рассчитывают по формулам

$$M_{Фр1} = V_{Фр1} \cdot \rho_{нФр1} = 2\rho_{нФр1}, \quad (2.8)$$

Таблица 2.4.

Факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Обозначение	Натуральное значение на уровне варьирования		
		-1	0	1
Соотношение средних диаметров фракций $d_{cp1} : d_{cp2}$	X_1	4	7	10
Коэффициент наполнения K_H	X_2	0,75	1	1,25

Таблица 2.5

Матрица планирования эксперимента

№ точек плана	Кодированные переменные		Натуральные переменные	
	x_1	x_2	$d_{cp1} \cdot d_{cp2}$	K_H
1	-1	-1	4	0,75
2	-1	0	4	1
3	-1	1	4	1,25
4	0	-1	7	0,75
5	0	0	7	1
6	0	1	7	1,25
7	1	-1	10	0,75
8	1	0	10	1
9	1	1	10	1,25

$$M_{Фр2} = K_H \cdot V_{ПФр1} \cdot \rho_{нФр2}, \quad (2.9)$$

где $\rho_{нФр1}$ и $\rho_{нФр2}$ – насыпная плотность соответственно первой и второй фракции, кг/л.

Фракции смешивают в рассчитанных для каждой точки из табл. 2.5 соотношениях. По формулам (2.2) и (2.3) определяют насыпную плотность $\rho_{нсм}$ и пустотность $\Pi_{см}$ полученной смеси. Результаты заносят в табл. 2.6.

По полученным данным рассчитываются коэффициенты регрессии $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ квадратичного полинома

$$\Pi_{см} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (2.10)$$

который служит математической моделью исследуемой зависимости плотности

упаковки частиц рыхлозернистого материала от рассматриваемых факторов. Расчет коэффициентов регрессии осуществляется на ЭВМ с помощью статистической диалоговой системы «STADIA» или программы Mahtlab.

Таблица 2.6

Результаты подбора состава двухфракционных смесей
методом двухфакторного эксперимента

$d_{cp1} : d_{cp2}$	Фракции		K_n	Расход фракций, кг		$\rho_{нсм},$ кг/л	$P_{см}, \%$	$M_{Фр2} : M_{Фр1}$
	$\Phi_{р1}$	$\Phi_{р2}$		$M_{Фр1}$	$M_{Фр2}$			

По вычисленным коэффициентам $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ проводится анализ модели, строятся поверхности отклика и определяются рациональное соотношение размеров фракций и оптимальное их соотношение по массе, обеспечивающие минимальную пустотность материала.

Полученные данные используются в последующем при конструировании конгломератных композитов оптимальной структуры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТРИЦЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

- 1) освоение методики оценки параметров структуры и свойств неорганической матрицы композиционных строительных материалов;
- 2) исследование влияния параметров структуры на физико-механические свойства матрицы композиционных строительных материалов.

Оборудование, инструменты и материалы:

1. Емкости для приготовления смеси.
2. Формы-призмы 4×4×16 см.
3. Мерные цилиндры на 500 мл.
4. Весы торговые с пределами взвешивания до 10 кг.
5. Весы электронные.
6. Металлические линейки по ГОСТ 427-75.
7. Пресс гидравлический – УММ-20.
8. Пикнометр.
9. Минеральное вяжущее вещество (портландцемент, гипс или др.).

Краткие теоретические сведения

Матрица в композитах служит для объединения дискретных включений в единый монолит, способный оказывать сопротивление внешним воздействиям, то есть работать. Соответственно, свойства композита будут во многом определяться характеристиками матрицы. В свою очередь, свойства матрицы определяются ее составом и структурой. Для матриц, получаемых на основе систем гидратного твердения (минеральных вяжущих веществ) важнейшими являются параметры порового пространства – объемное содержание пор и распределение их по размерам.

Главным рецептурно-технологическим фактором управления структурой порового пространства в системах гидратного твердения служит водовяжущее отношение В/Вяж. Изменяя величину В/Вяж, можно регулировать параметры порового пространства в широких пределах. Данная работа посвящена оценке пористости и прочности образцов цементного (гипсового и др.) камня с разным водовяжущим отношением и анализу влияния В/Вяж на параметры структуры и прочностные характеристики матрицы композиционных материалов.

Выполнение работы

Подгруппа студентов разбивается на 3 звена. Каждое звено производит расчет состава матрицы, исходя из задаваемой величины водовяжущего отношения, которое указываются преподавателем.

Состав матрицы и расход материалов на 1 м^3 при заданном водовяжущем отношении ($V/V_{\text{ВЯЖ}}$) рассчитывают, принимая некоторые допущения, исходя из следующих зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{ВЯЖ}} + V_{\text{В}} &= 1; \\ m_{\text{В}}/m_{\text{ВЯЖ}} &= V/V_{\text{ВЯЖ}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

где $V_{\text{ВЯЖ}}$ и $V_{\text{В}}$ – расходы вяжущего вещества и воды по объему соответственно, $\text{м}^3/\text{м}^3$ смеси;

$m_{\text{ВЯЖ}}$ и $m_{\text{В}}$ – расходы вяжущего вещества и воды по массе соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$ смеси.

Для расчета расходов материалов на 1 м^3 смеси система уравнений (3.1) преобразуется следующим образом:

$$\frac{m_{\text{ВЯЖ}}}{\rho_{\text{ВЯЖ}}} + \frac{m_{\text{В}}}{\rho_{\text{В}}} = 1, \quad (3.2)$$

$$\frac{m_{\text{ВЯЖ}}}{\rho_{\text{ВЯЖ}}} + \frac{V/V_{\text{ВЯЖ}} \cdot m_{\text{ВЯЖ}}}{\rho_{\text{В}}} = 1, \quad (3.3)$$

где $\rho_{\text{ВЯЖ}}$ – истинная плотность вяжущего, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$\rho_{\text{В}}$ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Из уравнения (3.3) находят расход вяжущего на 1 м^3 смеси:

$$m_{\text{ВЯЖ}} = \frac{\rho_{\text{ВЯЖ}} \cdot \rho_{\text{В}}}{\rho_{\text{В}} + \rho_{\text{ВЯЖ}} \cdot V/V_{\text{ВЯЖ}}}, \quad (3.4)$$

и в соответствии с заданным водовяжущим отношением определяют расход воды.

После этого рассчитывают расходы компонентов на замес (2 л). Каждое звено формует две серии образцов, отличающиеся величиной водовяжущего отношения. Серия состоит из шести образцов-призм размером $4 \times 4 \times 16$ см. Образцы всех серий, формуемые подгруппой, должны иметь одинаковые размеры. Твердение отформованных образцов всех серий осуществляется в одинаковых

условиях, задаваемых преподавателем. После твердения образцы высушивают до постоянной массы и подвергают техническим испытаниям: их измеряют, взвешивают, определяют среднюю плотность материала, а затем испытывают на прочность при изгибе и сжатии. истинную и Для оценки структуры матрицы рассчитывается относительный объем микропор и объем твердой фазы в единице ее объема.

После проведения испытаний образцов микробетона для каждого образца рассчитывают предел прочности при изгибе и сжатии и объемную долю пор ($V_{пор}$). Для расчета объемной доли пор применяют формулу

$$V_{пор} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho}, \quad (3.5)$$

где ρ_m - средняя плотность матрицы в сухом состоянии, кг/м^3 ;
 ρ - истинная плотность матрицы в сухом состоянии, кг/м^3 .

Результаты испытаний заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты испытаний

В/Вяз серии образ- цов	Масса образца, кг	Геомет- рические размеры образца, м	Объем образ- ца, м^3	Средняя плотность образца, кг/м^3	Среднее значение средней плотности образцов в серии, кг/м^3	Объемная доля пор в образце, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Разрушающая нагрузка, Н		Предел прочно- сти образца, МПа	
							при изгибе	при сжатии	при из- гибе	при сжа- тии

Результаты определения объемной доли пор и предела прочности при сжатии статистически обрабатывают: определяют оценку математического ожидания (M) по формуле

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad (3.5)$$

величину среднеквадратического отклонения (S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{M} - x_i)^2}{n - 1}}; \quad (3.6)$$

коэффициент изменчивости (C_v):

$$C_v = \frac{S}{\bar{M}} \cdot 100 \% ; \quad (3.7)$$

доверительный интервал (δ):

$$\delta = \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} , \quad (3.8)$$

где t - коэффициент Стьюдента, зависящий от числа степеней свободы $k = n - 1$ и вероятности P . (При $P = 0,95$ и $k = 5$ $t = 2,571$).

Результаты статистической обработки (по всем звеньям) заносят в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты статистической обработки

В/Вяж серии образ- цов	Объемная доля пор				Предел прочности при сжа- тии				Предел прочности при изгибе		
	$V_{\text{пор}},$ $\text{м}^3/\text{м}^3$	$S,$ $\text{м}^3/\text{м}^3$	$C_v, \%$	$\pm\delta,$ $\text{м}^3/\text{м}^3$	$R,$ МПа	$S,$ МПа	$C_v, \%$	$\pm\delta,$ МПа	$R,$ МПа	$S,$ МПа	$C_v, \%$

На основе данных табл. 3.2 строят графические зависимости:

- 1) величины пористости матрицы от величины водовяжущего отношения $V_n = f(V/\text{Вяж})$;
- 2) предела прочности при изгибе и сжатии от величины пористости матрицы $R = f(V_n)$;
- 3) предела прочности при изгибе и сжатии от водовяжущего отношения $R = f(V/\text{Вяж})$.

На основании анализа полученных графических зависимостей делается заключение о влиянии водовяжущего отношения и объема пор на физико-механические свойства матрицы композиционных строительных материалов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ЦЕМЕНТАЦИИ НА СВОЙСТВА КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Цель работы:

исследование влияния содержания зерен мелкого заполнителя на структуру (тип цементации) и свойства композиционного строительного материала (на примере мелкозернистого бетона).

Оборудование, инструменты и материалы:

1. Емкость для приготовления смеси.
2. Формы-кубы (с ребром 50 или 70 мм).
3. Мерные цилиндры на 500 и 1000 мл.
4. Весы торговые с пределами взвешивания до 10 кг.
5. Мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1л.
6. Набор сит по ГОСТ 3584-73.
7. Металлические линейки по ГОСТ 427-75.
8. Пресс гидравлический – УММ-20.
9. Минеральное вяжущее вещество (портландцемент, гипс или др.).
10. Мелкий заполнитель (кварцевый песок или т.п.).

Краткие теоретические сведения

Тип цементации композиционных материалов характеризуется величиной коэффициента избытка матрицы - $\alpha_{из}$, который рассчитывается как отношение объема V_m матрицы к объему $V_{ип}$ пустот включений, находящихся в состоянии контакта без раздвижки зерен.

$$\alpha_{из} = V_m / V_{ип} \quad (4.1)$$

В зависимости от величины $\alpha_{из}$ различают контактный (рис. 1 а), пленочный (рис. 1 б), поровый (рис. 1 в) и базальный или плавающий (рис. 1 г) типы цементации композиционных материалов.

Тип цементации оказывает влияние на прочность композиционных материалов. Оптимальной считается такая структура конгломератного композита, при которой все межзерновое пространство системы сложения включений нацело заполнено матрицей с некоторой раздвижкой частиц (поровый тип цементации). Такая структура обуславливает наилучшие условия сопротивления композита распространению трещин в его теле.

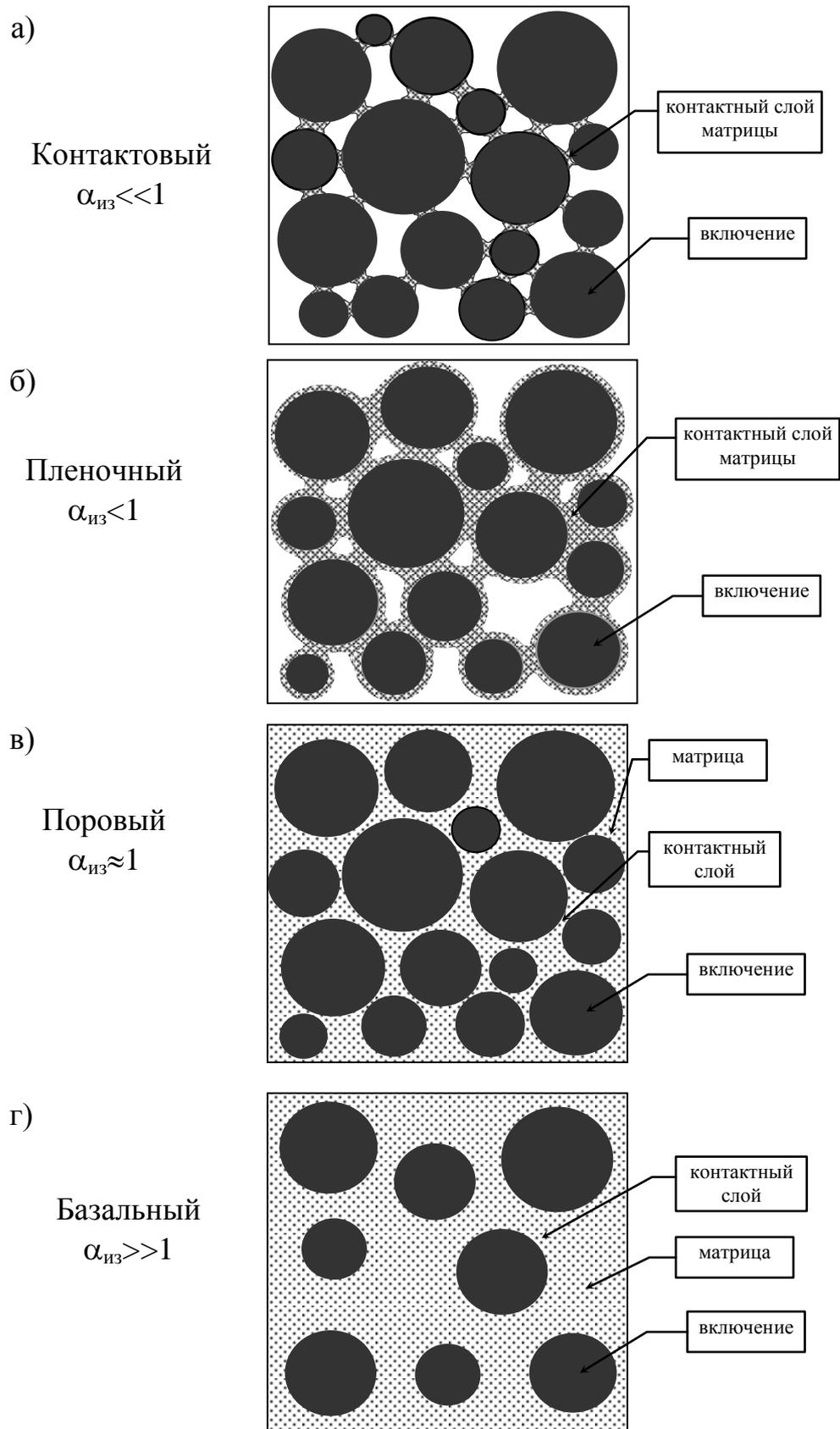


Рис. Типы цементации композиционных материалов

Помимо этого, установлено, что прочность матрицы в «пленочном» состоянии выше, чем в «объемном» из-за ее структурированности под действием поверхности включений («подложки»). При этом обеспечивается так же и экономия вяжущего.

От объемной доли включений в композите при их постоянном виде и размере, а в конечном итоге, от величины коэффициента избытка матрицы зависит степень использования потенциала прочности матрицы в прочности композиционного материала. Использование потенциала прочности матрицы в прочности композита оценивают по величине коэффициента $K_{инп}$, определяемого отношением предела прочности на сжатие композита к пределу прочности на сжатие матрицы, на основе которой получен данный композит.

$$K_{инп} = R_k / R_m \quad (4.2)$$

Данная лабораторная работа направлена на изучение влияния коэффициента избытка матрицы (материал, получаемый в третьей лабораторной работе) на предел прочности при сжатии и пористость мелкозернистого бетона (включения – лабораторная работа №2).

Выполнение работы

Исходя из характеристик включений (лабораторная работа №2) величины, рассчитывают состав смеси с различным коэффициентом избытка матричного материала $\alpha_{из}$: 0,6; 1,1 и 1,6. Подгруппа разбивается на 3 звена, каждое звено работает со своей величиной $\alpha_{из}$. Величина водовяжущего отношения принимается постоянной для всех серий образцов по результатам лабораторной работы №3. Расчет составов на 1 м^3 смеси производится исходя из следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} V_M &= \alpha_{из} \cdot V_{пуст}, \\ V_M &= V_{вяж} + V_v, \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

где V_M – объем матричного материала в 1 м^3 смеси,

$V_{пуст}$ – пустотность включений,

$V_{вяж}$ - объем вяжущего в 1 м^3 смеси,

V_v - объем воды в 1 м^3 смеси.

Для расчета материалов на 1 м^3 смеси приведенная система уравнений преобразуется следующим образом:

$$\frac{m_{\text{вяж}}}{\rho_{\text{вяж}}} + \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \alpha_{\text{из}} \cdot V_{\text{пуст}}, \quad (4.4)$$

$$\frac{m_{\text{вяж}}}{\rho_{\text{вяж}}} + \frac{B/\text{Вяж} \cdot m_{\text{вяж}}}{\rho_{\text{в}}} = \alpha_{\text{из}} \cdot V_{\text{пуст}}, \quad (4.5)$$

где $m_{\text{в}}$ - масса воды, кг;

$m_{\text{вяж}}$ - масса вяжущего, кг;

$\rho_{\text{вяж}}$ - истинная плотность вяжущего, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, кг/м³.

Затем из уравнения (4.5) находят массу вяжущего.

Расход включений ($m_{\text{вк}}$) в кг/м³ рассчитывают, исходя из соотношений:

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{вк}} &= 1 - V_{\text{М}}, \\ m_{\text{вк}} &= \rho_{\text{вк}} \cdot (1 - K_{\text{изб}} \cdot V_{\text{пуст}}), \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

где $\rho_{\text{вк}}$ - истинная плотность зерен включений, кг/м³;

$V_{\text{вк}}$ - объем включений в 1 м³ смеси.

После проведения расчетов каждое звено формует серию из шести образцов-кубов со стороной ребра 5 см (7 см). Серии образцов отличаются величиной коэффициента избытка матричного материала. После твердения (условия твердения для всех смесей должны быть одинаковыми) образцы высушивают до постоянной массы и подвергают техническим испытаниям: их измеряют, взвешивают, а затем испытывают на прочность при сжатии. Результаты экспериментов статистически обрабатывают с вероятностью 0,95 (см. лабораторную работу №3) и заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты испытаний

K _{изб} серии образцов	Масса образца, кг	Геометрические размеры образца, м	Средняя плотность образца, кг/м ³	Среднее значение плотности образцов в серии, кг/м ³	Разрушающая нагрузка при сжатии, Н	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Результаты статистической обработки значений предела прочности при сжатии образцов			
							R, МПа	S, МПа	C _v , %	±δ, МПа

Для анализа полученных результатов для каждой серии образцов рассчитываются следующие параметры структуры: объемная доля пор и твердой фазы

(матричного материала и включений) в 1 м^3 мелкозернистого бетона (см. лабораторную работу №3). По результатам испытаний определяется коэффициент использования потенциала прочности матрицы в прочности композита $K_{\text{ипп}}$ по формуле (4.2)

Результаты расчетов заносят в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Характеристика параметров структуры и свойств мелкозернистого бетона

Тип цементации	$V_{\text{тв.ф}} = V_{\text{вк}} + V_{\text{м}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{пор}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент использования потенциала прочности матрицы ($K_{\text{ипп}}$)
Пленочный ($\alpha_{\text{из}} = 0,9$)				
Поровый ($\alpha_{\text{из}} = 1,1$)				
Базальный ($\alpha_{\text{из}} = 1,6$)				

На основе данных табл. 4.2 строят графические зависимости:

- 1) величины пористости композита от $\alpha_{\text{из}}$: $V_{\text{п}} = f(\alpha_{\text{из}})$;
- 2) предела прочности при сжатии композита от $\alpha_{\text{из}}$: $R_{\text{сж}} = f(\alpha_{\text{из}})$;
- 3) коэффициента использования потенциала прочности матрицы в прочности композита от $\alpha_{\text{из}}$: $K_{\text{ипп}} = f(\alpha_{\text{из}})$.

На основании анализа полученных графических зависимостей делается заключение о влиянии типа цементации на параметры структуры (пористость), прочность композиционного материала и использование потенциала прочности матрицы в прочности композита.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОФАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАКРОКОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы:

исследование влияния фракционного состава и содержания зерен крупного заполнителя на структуру и свойства композиционного строительного материала.

Оборудование, инструменты и материалы:

1. Емкость для приготовления смеси.
2. Формы-кубы (с размером ребра 100 мм).
3. Мерные цилиндры на 500 и 1000 мл.
4. Весы торговые с пределами взвешивания до 10 кг.
5. Мерные цилиндрические сосуды вместимостью 5; 10; 20 и 50 л.
6. Набор сит с отверстиями диаметром 3; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30 мм.
7. Пресс гидравлический УММ-20.
8. Минеральное вяжущее вещество (портландцемент, гипс или др.).
9. Мелкий заполнитель (кварцевый песок или т.п.).
10. Крупный заполнитель (гранитный щебень, керамзитовый гравий и др.).

Рабочим заданием является оценка пористости и предела прочности при сжатии образцов плотного бетона с различным объемным содержанием зерен крупного заполнителя. В качестве матрицы принимается мелкозернистая смесь оптимального состава (по данным лабораторной работы №2), включениями являются зерна крупного заполнителя (гранитного щебня) различного фракционного состава. На основании полученных результатов работы проводится анализ влияния объемного содержания крупного заполнителя различного фракционного состава на прочность композиционного материала и использование потенциала прочности матрицы в прочности композита.

Выполнение работы

В начале работы проводится определение зернового состава крупного заполнителя (щебня или гравия) смешанной фракции согласно ГОСТ 8269.0 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Звенья студенческой подгруппы работают с крупным заполнителем определенной фракции: 2 звена используют крупный заполнитель монофракционного со-

става различной крупности, 1 звено использует заполнитель полифракционного состава.

Каждое звено проводит определение объемной насыпной массы и пустотности крупного заполнителя своей рабочей фракции согласно ГОСТ 8269.0. Исходя из величины пустотности заполнителя ($V_{пуст}$) различных фракций, производится расчет составов смесей с различным коэффициентом избытка матричного материала ($K_{изб}$). Каждое звено рассчитывает составы бетонной смеси для $K_{изб} = 0,9; 1,1; 1,6$. Величина водовяжущего отношения, величина соотношения массовых долей мелкого заполнителя и вяжущего в составе матрицы принимаются постоянными для всех серий образцов и задаются согласно результатам лабораторных работ №1 и №2.

Расчет составов на 1 м^3 смесей производят исходя из следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} V_M &= \alpha_{из} \cdot V_{пуст}, \\ V_M &= V_{вяж} + V_{МЗ} + V_v, \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

где V_M – объем матричного материала в 1 м^3 смеси,

$V_{вяж}$ – объем вяжущего в 1 м^3 смеси,

$V_{МЗ}$ – объем мелкого заполнителя в 1 м^3 смеси,

V_v – объем воды в 1 м^3 смеси.

Для расчета расхода материалов на 1 м^3 смеси приведенная система уравнений преобразуется следующим образом:

$$\frac{m_{вяж}}{\rho_{вяж}} + \frac{m_{МЗ}}{\rho_{МЗ}} + \frac{m_v}{\rho_v} = \alpha_{из} \cdot V_{пуст}, \quad (5.2)$$

$$\frac{m_{вяж}}{\rho_{вяж}} + \frac{m_{МЗ} / B_{вяж} \cdot m_{вяж}}{\rho_{МЗ}} + \frac{B / B_{вяж} \cdot m_{вяж}}{\rho_v} = \alpha_{из} \cdot V_{пуст}, \quad (5.3)$$

где $m_{вяж}$ – масса вяжущего, кг;

$m_{МЗ}$ – масса мелкого заполнителя, кг;

m_v – масса воды, кг;

$\rho_{вяж}$ – истинная плотность вяжущего, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{МЗ}$ – истинная плотность зерен мелкого заполнителя, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_v – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Затем из уравнения (5.3) находят массу вяжущего и массу мелкого заполнителя. Расход включений $m_{вк}$ в $\text{кг}/\text{м}^3$ рассчитывают по формуле (4.6) (см. лабораторную работу №2).

Каждое звено формирует по 3 серии из шести образцов-кубов со стороны

ребра 10 см, используя крупный заполнитель своей рабочей фракции. Серии образцов отличаются величиной коэффициента избытка матричного материала. После твердения (условия твердения для всех серий образцов должны быть одинаковыми) образцы высушивают до постоянной массы и подвергают техническим испытаниям: их измеряют, взвешивают, а затем испытывают на прочность при сжатии. Результаты экспериментов статистически обрабатывают с вероятностью 0,95 (см. лабораторную работу №1) и заносят в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты испытаний

К _{изб} серии образцов	Масса образца, кг	Геометрические размеры образца, м	Средняя плотность образца, кг/м ³	Среднее значение плотности образцов в серии, кг/м ³	Разрушающая нагрузка при сжатии, Н	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Результаты статистической обработки значений предела прочности при сжатии образцов			
							R, МПа	S, МПа	C _v , %	±δ, МПа

Для анализа полученных результатов для каждой серии образцов рассчитываются следующие параметры структуры: объемная доля пор и твердой фазы (матричного материала и включений) в 1 м³ бетона (см. лабораторную работу №3). По результатам испытаний определяется коэффициент использования потенциала прочности матрицы K_{инп}.

Результаты расчетов заносят в табл. 5.2.

Таблица 3.2

Характеристика параметров структуры и свойств бетона

Фракционный состав крупного заполнителя	Тип цементации	$V_{тв.ф} = V_{вк} + V_M, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$V_{пор}, \text{ м}^3/\text{м}^3$	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент использования потенциала прочности матрицы (K _{инп})
	Пленочный ($\alpha_{из} = 0,9$)				
	Поровый ($\alpha_{из} = 1,1$)				
	Базальный ($\alpha_{из} = 1,6$)				

На основе данных табл. 3.2 строят графические зависимости:

- 1) величины пористости, предела прочности при сжатии, коэффициента использования потенциала прочности матрицы от $\alpha_{из}$ матричного материала $V_{п} = f(\alpha_{из})$; $R_{сж} = f(\alpha_{из})$; $K_{инп} = f(\alpha_{из})$ для бетонов, изготовленных на за-

- полнителях различного фракционного состава;
- 2) предела прочности при сжатии и коэффициента использования потенциала прочности матрицы бетона от фракционного состава крупного заполнителя.

На основании анализа полученных зависимостей делается заключение о влиянии типа цементации, фракционного состава крупного заполнителя на пористость и прочность композиционного материала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев, И.А. Основы строительного материаловедения в лекционном изложении [Текст] : учеб. пособие для вузов : рек. Ассоц. строит. вузов. - М. : АСТ : Астрель : Хранитель, 2006. - 604 с.
2. Физико-химические основы строительного материаловедения : Учеб. пособие / В.Н. Вернигорова, Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.А. Соколова. - М. : АСВ, 2003. - 135 с.
4. Материаловедение в строительстве [Текст] : учеб. пособие для вузов : рек. УМО РФ / под ред. И. А. Рыбьева. - М. : Academia, 2006. - 526 с.
5. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. - Уфа : [б. и.], 2002. - 371 с.
6. Перфилов В.А. Трещиностойкость бетонов / Волгоград. гос. архит.-строит. акад. - Волгоград : [б. и.], 2000. - 239 с.
7. Вернигорова В.Н. Современные методы исследования свойств строительных материалов : Учеб. пособие. - М. : АСВ, 2003. - 239 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Седиментационная сепарация микро- дисперсных материалов.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Подбор гранулометрического состава твёрдофазовых макровключений	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Исследование структуры и свойств матрицы композиционных строительных материалов.....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Изучение влияния типов цементации на свойства композиционных строительных материалов.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Исследование влияния твёрдофазовых включений на структуру и свойства макрокомпозиционного строитель- ного материала	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	24

Синтез и конструирование структур конгломератных строительных композитов

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Теория структуры строительных композитов,
синтез и конструирование структур»
для студентов, обучающихся по направлению
«Химия, физика и механика материалов»

Составители д.т.н., проф. Чернышов Евгений Михайлович,
д.т.н., проф. Славчева Галина Станиславовна,
к.т.н, доц. Макеев Алексей Иванович

Отпечатано в авторской редакции

Подписано в печать . . . 2014 г. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. . .
Усл.-печ. л. . . Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной лите-
ратуры и учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84