Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра строительных конструкций, оснований и фундаментов
имени профессора Борисова Ю.М.

1142

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ для студентов
специальности 08.04.01 «Строительство»
всех форм обучения

Воронеж 2015

УДК 691-419.8(07)
ББК 38.3

Составители С.А. Пинаев, Чмыхов В.А., Поликутин А.Э.

Конструкционные свойства строительных композитов: метод. указания к выполнению лаб. работ для студ. обучающихся по специальности 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения / Воронежский ГАСУ: С.А. Пинаев, В.А. Чмыхов, А.Э. Поликутин – Воронеж, 2015 – 46 с.

Дается методика проведения, выполнения и оформления результатов лабораторных работ по исследованию механических характеристик основных конструкционных материалов, широко используемых в строительстве. Приводятся необходимые справочные и нормативные сведения.

Предназначены для студентов специальности 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения.

Ил. 17. Табл. 11. Библиогр.: 9 назв.

УДК 691-419.8(07)
ББК 38.3

Печатается по решению учебно-методического совета Воронежского ГАСУ

Рецензент – Г.Д. Шмелев, к. т. н., проф. кафедры жилищно-коммунального хозяйства Воронежского ГАСУ

ВВЕДЕНИЕ

Испытания физико-механических свойств конструкционных материалов, применяемых в строительстве, развитие физических и механических методов контроля основных конструкционных материалов имеют большое значение для развития строительной науки и техники. Результаты испытаний дают возможность проверить эксплуатационную пригодность, надежность, качество уже используемых для строительных конструкций и вновь разрабатываемых материалов, а также правильность технологии изготовления строительных материалов. Испытания имеют особое значение для важнейшего конструкционного композита – бетона, теория сопротивления которого строится на опытных данных и исходит из действительного напряженно-деформированного состояния под нагрузкой.

Настоящие методические указания призваны ознакомить студентов с основами испытаний важнейших конструкционных материалов, а также основными физическими и механическими методами разрушающего и неразрушающего контроля механических характеристик, включая статистическую обработку результатов измерений.

Методическими указаниями предусмотрено выполнение лабораторных испытаний бетонных образцов с целью определения прочности разрушающими и неразрушающими методами, определение механических характеристик арматурной стали, испытание кирпича. Предлагается выполнить семь лабораторных работ. В первой работе исследуется прочность стандартных бетонных образцов с применением неразрушающих методов контроля (ультразвукового, пластических деформаций, упругого отскока), во второй прочность образцов, использованных в первой работе, определяется разрушающими методами, выполняется анализ и сравнение результатов по первой и второй работам. В третьей исследуют химический состав арматурной стали, которую затем в четвертой работе определяют механические свойства арматурной стали путем ее испытания на растяжение с построением диаграммы деформирования.

В пятой определяется предел прочности кирпича при сжатии и изгибе. В шестой измеряют трехмерную типологию микрорельефа поверхности композитов, в седьмой работе исследуют размеры и формы частиц наполнителей, использованных в качестве наполнителей при создании композиционных материалов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение прочности бетонных образцов неразрушающими методами

1.1. Цель работы

Определить прочность бетона при сжатии путем испытания образцов в форме кубиков неразрушающими методами.

1.2. Задание

– Выполнить визуальный осмотр образцов с целью отбора и подготовки их поверхностей для проведения испытаний;
– обозначить на боковых гранях образцов места для проведения испытаний;
– определить прочность бетонных образцов по ГОСТ 22690-88 [1] с использованием молотка Кашкарова;
– определить прочность бетонных образцов по ГОСТ 22690-88 [1] с помощью склерометра ОМШ-1;
– определить прочность бетонных образцов ультразвуковым методом по ГОСТ 17624–87 [2] с использованием ультразвукового прибора УК-14ПМ;
– выполнить статистическую обработку результатов испытаний;
– сравнить результаты определения прочности бетона;
– оформить отчет;
– ответить на контрольные вопросы.

1.3. Краткие теоретические сведения

Неразрушающие методы позволяют наиболее оперативно и экономически выгодно по косвенным характеристикам определить прочность бетона и другие его параметры. Различают механические и немеханические методы определения прочности и других параметров бетона.

В зависимости от применяемого механического метода косвенными характеристиками прочности являются:

– при использовании метода пластических деформаций (молоток Кашкарова) – соотношение диаметров отпечатков на бетоне и эталонном стержне;

– при использовании метода упругого отскока – значение отскока бойка от поверхности бетона (склерометр ОМШ-1).

Прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетонных образцов и косвенными характеристиками прочности.

Использование ультразвукового метода основано на известных зависимостях параметров механических колебаний упругой среды от ее физико-механических характеристик плотности – ρ; модуля упругости – E, модуля сдвига – G и коэффициента Пуассона – μ.

Важнейшей характеристикой волны является скорость ее распространения *c*

$$c = \frac{\sqrt{E}}{\rho}\kappa, \qquad (1.1)$$

где κ – коэффициент, зависящий от формы среды:

$$\kappa = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2H)}} \qquad (1.2)$$

– для объемных (трехмерных) сред – массивов;

$$\kappa = \sqrt{1-\frac{1}{\mu^2}} \qquad (1.3)$$

– для плоских (двухмерных) сред – пластин;

$$\kappa \cong 1 \qquad (1.4)$$

– для линейных (одномерных) сред – стержней.

Контроль прочности бетона по УК-14ПМ осуществляют по скорости прохождения через него переднего фронта продольной ультразвуковой волны (скорости ультразвука) исходя из градуировочной зависимости (рис.1.1).

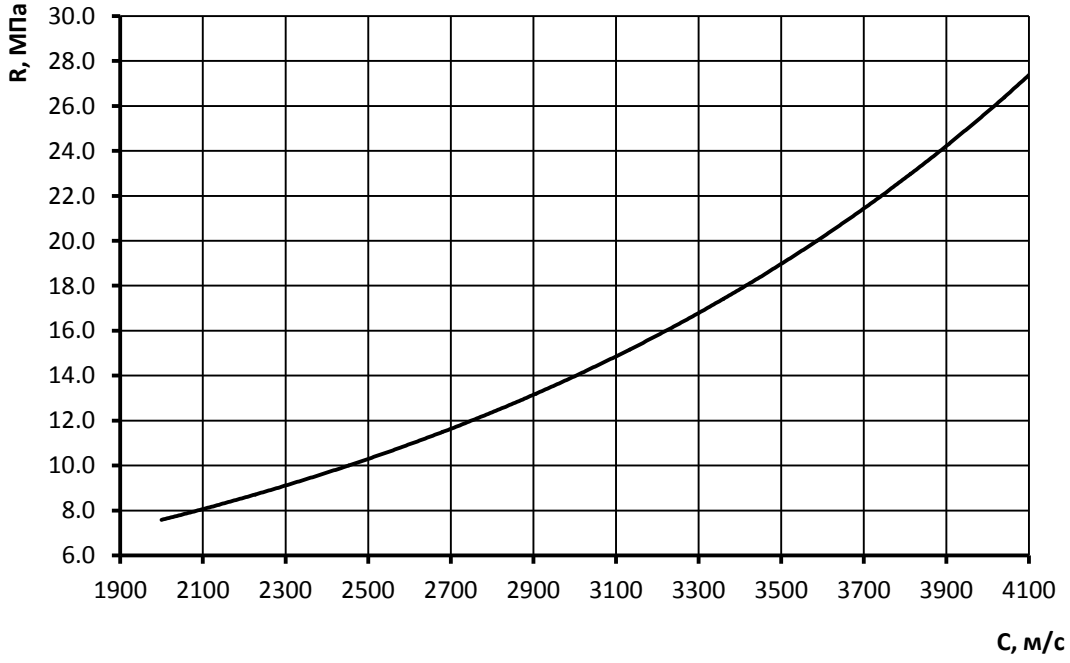


Рис.1.1

Скорость ультразвука определяют по времени t (мкс) его прохождения на участке определенной длины L (мм), называемой базой прозвучивания, по формуле

$$C = 10^6 \frac{l}{t}\left(\frac{м}{с}\right). \qquad (1.5)$$

Для генерации и приема ультразвуковых колебаний применяются пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП), действие которых основано на пьезоэлектрических эффектах – прямом и обратном. Прямой эффект состоит в появлении электрических зарядов на границах некоторых кристаллов при их сжатии или растяжении. Обратный эффект – в возникновении деформаций при внесении подобных кристаллов в электрическое поле.

1.4. Выполнение работы

1.4.1. Определение прочности бетона механическими методами с помощью молотка Кашкарова и склерометра ОМШ-1

В соответствии с ГОСТ 22690.0-88 [1] и 22690.1-88 [1] количество участков для испытаний должно быть не менее 3-х. На каждом участке выполняют не менее 5 испытаний. Расстояние между местами испытаний должно быть ≥ 30 мм. После каждого испытания передвигается стальной эталонный стержень на 10 мм. Граница участка испытания должна быть не ближе 50 мм от края образца. Удары молотком Кашкарова (рис.1.2, 1.3) или склерометром (рис.1.4) наносятся перпендикулярно поверхности бетона.

Для удобства измерений полученных отпечатков на бетоне удары рекомендуется наносить через листы белой и копировальной бумаги. Для этого на испытуемую поверхность образца (конструкции) кладут копировальную бумагу черной стороной вверх, а на нее белую бумагу. При ударе на бумаге остается черный отпечаток.

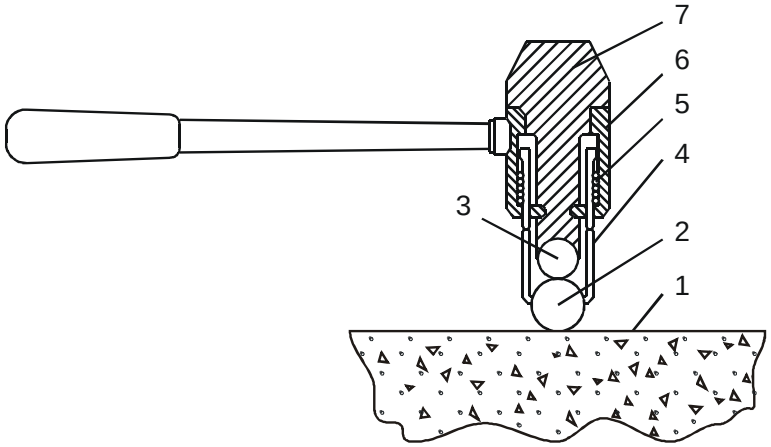


Рис.1.2. Конструкция эталонного молотка Кашкарова: 1 – испытываемый бетон; 2 – дентор (шарик); 3 – эталонный стержень; 4 – стакан; 5 – пружина; 6 – корпус; 7 – головка.

На эталонном стержне отпечатки измеряются по прямолинейной образующей стержня. За диаметр отпечатка на бетоне принимают среднее арифметическое значение результатов двух взаимно-перпендикулярных измерений, вычисленных с погрешностью не более 0,1 мм

$$d = (d_1 + d_2)/2, \qquad (1.6)$$

где d_1, d_2 – диаметры отпечатков по двум перпендикулярным направлениям.

Прочность бетона на сжатие определяется по формуле

$$R = k_в k_\tau \overline{R}, \qquad (1.7)$$

$\overline{R}$ – средняя прочность бетона (МПа), определяемая по градуировочной табл.1.1.

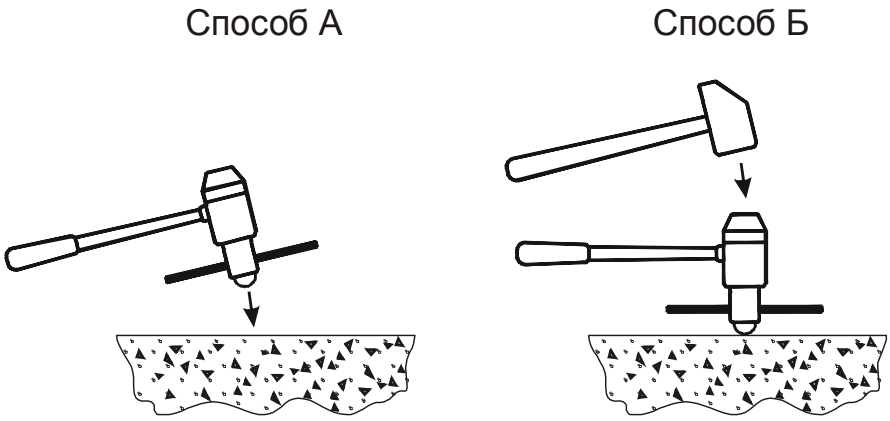


Рис.1.3. Способы испытания бетона: А – нанесение ударов эталонным молоком; Б – нанесение ударов на узких ребрах конструкций.

Таблица 1.1

Кубиковая прочность бетона (R) при сжатии в зависимости от соотношения диаметров отпечатков ($H=d_б/d_э$)

H	$R^{н,\ у,}$		H	$R^{н,\ у,}$		H	$R^{н,\ у,}$		H	$R^{н,\ у,}$	
	МПа	кгс/см^2		МПа	кгс/см^2		МПа	кгс/см^2		МПа	кгс/см^2
1,10	55,6	567	1,58	23,1	235	2,06	13,5	138	2,54	8,1	83
1,12	54,3	554	1,60	22,4	228	2,08	13,3	136	2,56	8,0	82
1,14	52,6	536	1,62	21,8	222	2,10	13,1	134	2,58	7,8	80
1,16	50,7	517	1,64	21,2	216	2,12	12,9	131	2,60	7,5	76
1,18	49,1	501	1,66	20,3	207	2,14	12,7	129	2,62	7,3	74
1,20	47,5	484	1,68	20,1	205	2,16	12,4	126	2,64	7,2	73
1,22	45,6	465	1,70	19,4	198	2,18	12,3	125	2,66	6,9	70
1,24	44,8	457	1,72	18,9	193	2,20	12,1	123	2,68	6,7	68
1,26	41,9	427	1,74	18,3	187	2,22	11,9	121	2,70	6,5	66
1,28	40,1	409	1,76	17,9	182	2,24	11,7	119	2,72	6,4	65
1,30	38,1	388	1,78	17,6	179	2,26	11,5	117	2,74	6,1	62
1,32	36,9	376	1,80	17,2	175	2,28	11,2	114	2,76	5,9	60
1,34	34,9	356	1,82	16,8	171	2,30	10,9	111	2,78	5,7	58
1,36	33,8	345	1,84	16,4	167	2,32	10,8	110	2,80	5,5	56
1,38	32,2	328	1,86	16,0	163	2,34	10,4	106	2,82	5,2	53
1,40	30,8	314	1,88	15,8	161	2,36	10,3	105	2,84	5,0	51
1,42	29,6	302	1,90	15,5	158	2,38	10,1	103	2,86	4,8	49
1,44	28,4	290	1,92	15,1	154	2,40	9,9	101	2,88	4,6	47
1,46	27,6	281	1,94	14,9	152	2,42	9,6	98	2,90	4,4	45
1,48	26,6	271	1,96	14,5	148	2,44	9,4	96	2,92	4,1	42
1,50	25,8	263	1,98	14,2	145	2,46	9,1	93	2,94	3,8	39
1,52	24,9	254	2,00	14,1	144	2,48	8,8	90	2,96	3,6	37
1,54	24,2	247	2,02	13,8	141	2,50	8,6	88	2,98	3,4	35
1,56	23,7	242	2,04	13,6	139	2,52	8,3	85	3,00	3,2	33

1. Ударник;
2. Испытываемый бетон;
3. Комплектный кожух;
4. Указатель (стрелка) со штангой;
5. Нажимная кнопка в комплекте;
6. Подвижный шток;
7. Направляющий диск;
8. Колпачок;
9. Разделенное на две части кольцо;
10. Крышка;
11. Пружина сжатия;
12. Защелка;
13. Шток;
14. Пружина отдачи;
15. Ударная пружина;
16. Втулка;
17. Войлочное кольцо;
18. Плексигласовое окошко со шкалой;
19. Болта;
20. Контргайка;
21. Штифт;
22. Пружина защелки.

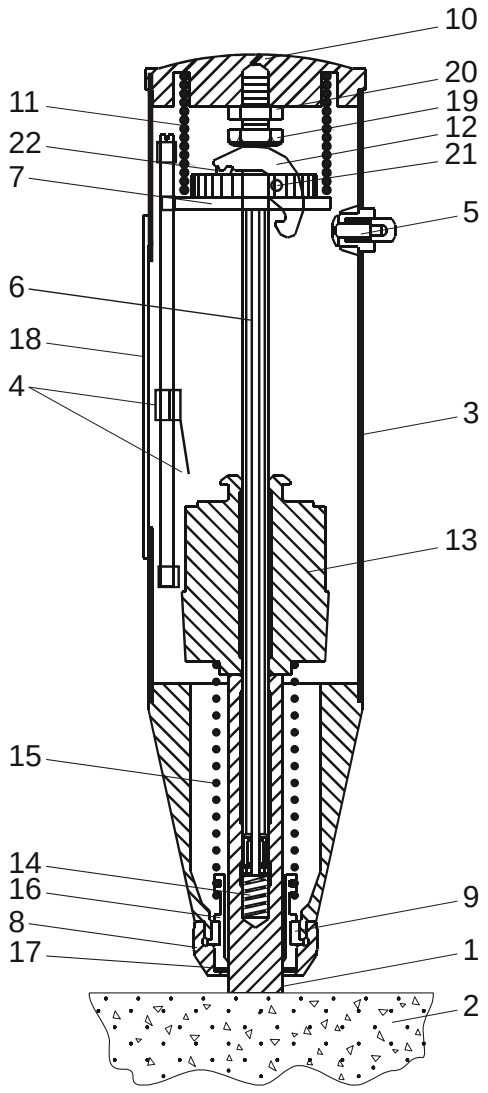
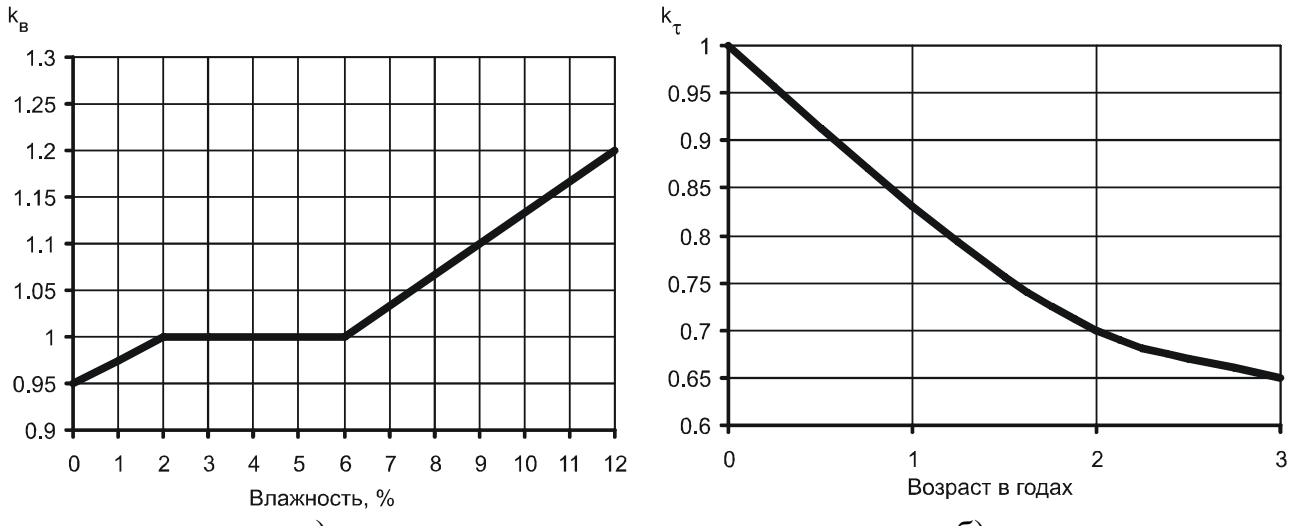


Рис.1.4. Продольный разрез склерометра ОМШ-1



а) б)

Рис.1.5. Коэффициенты, учитывающие влажность (а) и возраст бетона (б)

Таблица 1.2

Кубиковая прочность бетона при сжатии (R) в зависимости от величины отскока (r)

r	14 – 56 дней						7 дней					
	R_m			R_{min}			R_m			R_{min}		
	кг/см^2	Н/мм^2	psi	кг/см^2	Н/мм^2	psi	кг/см^2	Н/мм^2	psi	кг/см^2	Н/мм^2	psi
20	101	9,9	1440	54	5,3	770	121	11,9	1720	74	7,3	1050
21	113	11,1	1610	64	6,3	910	132	12,9	1880	83	8,1	1180
22	126	12,4	1790	75	7,4	1070	145	14,2	2060	94	9,2	1340
23	139	13,6	1980	86	8,4	1220	157	15,4	2230	104	10,2	1480
24	152	14,9	2160	98	9,6	1390	169	16,6	2400	115	11,3	1640
25	166	16,3	2360	110	10,8	1560	183	18	2600	127	12,5	1810
26	180	17,7	2560	122	12	1740	196	19,2	2790	138	13,5	1960
27	195	19,1	2770	135	13,2	1920	210	20,6	2990	150	14,7	2130
28	210	20,6	2990	149	14,6	2120	225	22,1	3200	164	16,1	2330
29	225	22,1	3200	163	16	2320	239	23,4	3400	177	17,4	2520
30	241	23,6	3430	178	17,5	2530	254	24,9	3610	191	18,7	2720
31	257	25,2	3660	193	18,9	2750	269	26,4	3830	205	20,1	2920
32	274	26,9	3900	209	20,5	2970	285	28	4050	220	21,6	3130
33	291	28,5	4140	225	22,1	3200	300	29,4	4270	234	23	3330
34	307	30,1	4370	240	23,5	3410	315	30,9	4480	248	24,3	3530
35	324	31,8	4610	256	25,1	3640	331	32,5	4710	263	25,8	3740
36	342	33,5	4860	273	26,8	3880	348	34,1	4950	279	27,4	3970
37	360	35,3	5120	290	28,4	4120	365	35,8	5190	295	28,9	4200
38	377	37	5360	307	30,1	4370	381	37,4	5420	311	30,5	4420
39	395	38,7	5620	324	31,8	4610	398	39	5660	327	32,1	4650
40	413	40,5	5870	341	33,4	4850	416	40,8	5920	344	33,7	4890
41	432	42,4	6150	359	35,2	5110	434	42,6	6170	361	35,4	5130
42	450	44,1	6400	377	37	5360	451	44,2	6410	378	37,1	5380
43	469	46	6670	395	38,7	5620	470	46,1	6690	396	38,8	5630
44	488	47,9	6940	414	40,6	5890	488	47,9	6940	414	40,6	5890
45	507	49,7	7210	432	42,4	6140	507	49,7	7210	432	42,4	6140
46	526	51,6	7480	451	44,2	6410	526	51,6	7480	451	44,2	6410
47	546	53,5	7770	470	46,1	6690	546	53,5	7770	470	46,1	6690
48	565	55,4	8040	489	48	6960	565	55,4	8040	489	48	6960
49	584	57,3	8310	508	49,8	7230	584	57,3	8310	508	49,8	7230
50	604	59,2	8590	527	51,7	7500	604	59,2	8590	527	51,7	7500
51	623	61,1	8860	546	53,5	7770	623	61,1	8860	546	53,5	7770
52	643	63,1	9150	565	55,4	8040	643	63,1	9150	565	55,4	8040
53	663	65	9430	584	57,3	8310	663	65	9430	584	57,3	8310
54	683	67	9710	603	59,1	8580	683	67	9710	603	59,1	8580
55	703	68,9	10000	622	61	8850	703	68,9	10000	622	61	8850

Результаты испытаний и статистической обработки заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты испытаний

Номера участков	молоток Кашкарова					ОМШ 1		
	отпечаток на бетоне $d_б$	отпечаток на эталоне $d_э$	$\frac{d_б}{d_э}$	R_i	$R_i - \overline{R}$	Величина отскока, мм	R_i	$R_i - \overline{R}$
1								
2								
n								

$\overline{R}$ – среднее значение прочности бетона.

Средне квадратическое отклонение – $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \overline{R})^2}{n-1}}$.

Коэффициент вариации – $v_m = \frac{\sigma}{\overline{R}}$.

1.4.2. Определение прочности бетона с помощью ультразвукового прибора УК-14ПМ

Для надежного контакта между преобразователем и поверхностью бетона в местах прозвучивания наносится тонкий слой технического вазелина, машинного масла или других вязких материалов. Если на поверхности бетона в месте установки преобразователей имеются мелкие трещины, раковины или поры глубиной и диаметром более 2 мм, их заделывают гипсовым раствором. Различные неровности обрабатывают механическим путем.

Для приведения прибора УК-14ПМ в рабочее состояние необходимо:

– включить в сеть шнур блока питания и включить кнопку сетевого питания "сеть", которая находится на верхней стенке прибора;

– подключить преобразователи к разъемам;

– включить прибор нажатием на кнопку "ВКЛ", при этом должен загореться индикатор включения и индикатор "РЕЖИМ".

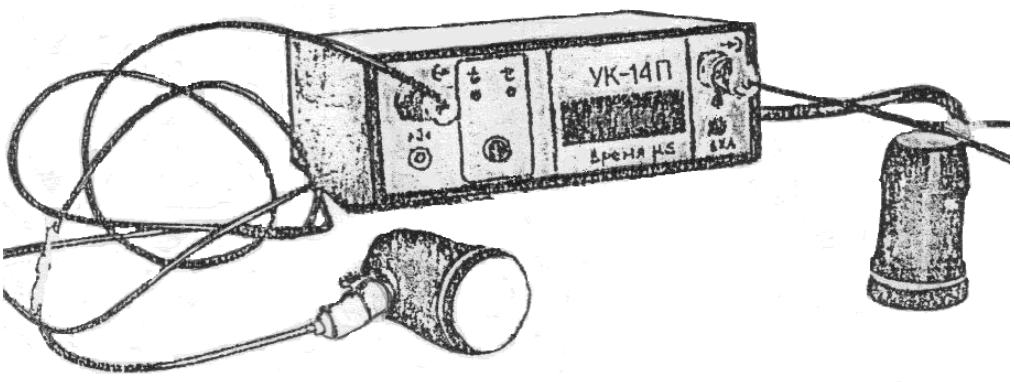


Рис.1.6. Ультразвуковой прибор УК-14ПМ. Внешний вид

Далее необходимо произвести коррекцию систематической погрешности прибора с помощью комплекта отраслевых стандартных образцов (рис.1.7), для чего установить преобразователи соосно на торцевых поверхностях образца МД 19-0-1 (входит в комплект поставка УК-14ПМ), предварительно смазанных контактной жидкостью и произвести измерение времени распространения УЗК по цифровому индикатору "ВРЕМЯ" (+); произвести аналогичные измерения времени распространения УЗК в образцах МД 19-0-1 и МД 19-0-2, установленных друг на друга через контактную среду; вычислить истинное время распространения УЗК в образце МД 19-0-2 по формуле

$$t_{2n} = t_3 - t_1, \qquad (1.8)$$

где t_{2n} – истинное время распространения УЗК в образце МД 19-0-2;

t_3 – время распространения УЗК в образцах МД 19-0-1 и МД 19-0-2;

t_1 – то же, в образце МД 19-0-1.

Далее, установив преобразователи соосно на торцевых поверхностях образца МД-0-2, предварительно смазанных контактной жидкостью, необходимо с помощью регулировки добиться равенства измеренного t_2 и истинного времени распространения УЗК.

Для измерения времени распространения УЗК в образцах и изделиях преобразователи устанавливаются соосно на образце материала или контролируемом изделии, также предварительно смазанных контактной жидкостью, и при наличии устойчивых показаний результат фиксируется по цифровому индикатору "ВРЕМЯ" (t).

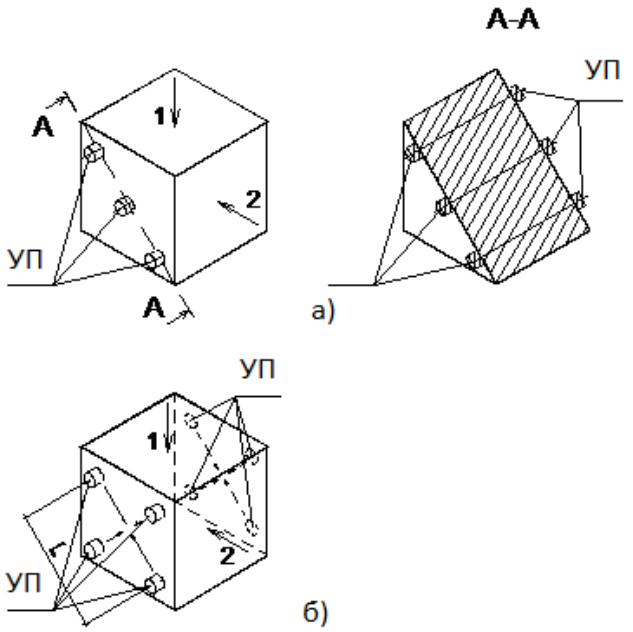


Рис. 1.7. Схемы испытания кубов бетона прибором УК-14ПМ:
а – схема испытания кубов способом сквозного прозвучивания; б – схема испытания кубов способом поверхностного прозвучивания; УП – ультразвуковые преобразователи; 1 – направление формования; 2 – направление испытания при сжатии; L – база прозвучивания

Прочность бетона в образце или конструкции определяется по градуировочной кривой 1.1. в зависимости от измеренной скорости прохождения УЗК. Результаты измерения времени *t*, базы прозвучивания *L* и вычисления скорость *c* записываются в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты измерений

Испытания	База прозвучивания L, м	Время УЗК t, мкс	Скорость УЗК c, м/с	Прочность при сжатии R, МПа	Средняя прочность $R_{ср}$, МПа
1					
2					
n					

Прочность бетона определяют по градуировочной кривой, проводя перпендикуляр от оси абсцисс к найденным значениям скорости УЗК до пересечения с графиком (рис.1.1) и отыскивая проекцию точки пересечения на ось ординат.

1.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о применяемых при испытаниях приборах, принципах их работы. Приводят расчеты прочности бетона, заполняют таблицы 1.3, 1.4.

Контрольные вопросы

1. На каких принципах основано определение прочности бетона неразрушающими методами: с помощью прибора УК14-ПМ; с помощью молотка Кашкарова, с помощью склерометра Шмидта?

2. Правила подготовки поверхности бетонных образцов в местах испытаний?

3. Порядок выполнения работы по определению прочности бетона с помощью прибора УК14-ПМ, молотка Кашкарова, склерометра Шмидта?

4. Из какой стали изготавливают эталонный стержень?

5. Как измеряют отпечатки на бетонной поверхности и эталонном стержне?

6. Какие характеристики бетона могут быть определены по результатам испытаний бетонных образцов?

Литература

[1, с.1-26; 2, с.1-20; 3, с.1-23]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение прочности бетона при сжатии и растяжении по контрольным образцам

2.1. Цель работы

Определить прочность бетона при сжатии и растяжении путем испытания образцов в форме кубиков на сжатие и раскалывание.

2.2. Задание:

– выполнить визуальный осмотр образцов с целью отбора и устранения дефектов;
– измерить образцы и определить их рабочую площадь поперечного сечения;
– нанести на боковые грани образцов центральные линии;
– выполнить нагружение образцов до разрушения;
– проверить схему разрушения образцов при сжатии, сравнить с дефектными схемами, при необходимости испытание повторить;
– определить прочность бетона при сжатии и растяжении;
– вычислить нормативные и расчетные сопротивления бетона при сжатии и растяжении;
– оформить отчет;
– ответить на контрольные вопросы.

2.3. Краткие теоретические сведения

В железобетонных конструкциях бетон используется для восприятия сжимающих напряжений. Поэтому за основную характеристику прочностных свойств бетона принята его прочность на осевое сжатие. Все другие характеристики (прочность на растяжение, местное сжатие и др.) могут быть определены по эмпирическим формулам с помощью экспериментальных коэффициентов. Наиболее простым и надежным способом оценки прочности бетона в реальных конструкциях является испытание на прессе кубов бетона, изготовленных в тех же условиях, что и конструкция. Поскольку конструкции по форме отличаются от кубов, кубиковая прочность непосредственно в расчетах не используется, а служит только для контроля качества бетона. За стандартные лабораторные образцы принимают кубы размерами 15×15×15 см (базовый размер). При испытаниях образцов других размеров их прочность должна быть пересчитана на прочность бетона в образцах базового размера.

Прочность бетона при растяжении зависит от прочности цементного камня и сцепления его с заполнителем. При осевом растяжении прочность бетона в 10-20 раз меньше прочности при сжатии. Из-за трудностей центрирования растягивающей силы истинное временное сопротивление бетона на осевое растяжение получить трудно, поэтому на практике определяют его косвенными методами – по результатам испытаний кубов или цилиндрических образцов на раскалывание или изгиба бетонных балочек.

2.4. Выполнение работы

2.4.1. В лабораторной работе выполняют испытания образцов по схемам 1-3 на рис.2.1. По каждой схеме испытывают два образца. Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а так же следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси испытанию не подлежат. Наплывы бетона на ребрах опорных граней образцов должны быть удалены напильником или образивным камнем. Выполняют нумерацию образцов. На образцах выбирают и отмечают грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. При проведении испытаний сжатие опорные грани выбирают таким образом, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы. Рабочая площадь сечения образца определяется как среднее арифметическое значение площадей опорных граней образца с точностью до 1 мм^2.

2.4.2. При выполнении испытаний, перед установкой образцов на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресса. Нагружение образцов производят непрерывно, до их полного разрушения со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в бетоне в пределах 0,6±0,4 МПа/с. За разрушающее принимают максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания. Характер разрушения образца при испытании на сжатие следует сравнить с возможными дефектными схемами разрушения (рис.2.2). В случае разрушения образца по одной из дефектных схем, результаты испытаний не учитывают.

2.4.3. При испытаниях на раскалывание подготовку образцов и устранение дефектов выполняют, как и для образцов при испытании на сжатие. Опорные грани при испытании по схеме 2 (рис.2.1) выбирают таким образом, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена перпендикулярно слоям укладки бетонной смеси в формы. Рабочая площадь образца определяется также как и при испытаниях на сжатие.

При испытаниях по схеме 3 направление раскалывающей силы должно совпадать с диагональной плоскостью образца, а ось образца должна проходить через центр шарнира пресса. Длину ребра куба определяют как среднее арифметическое длин ребер с точностью до 1 мм. Для равномерного распределения нагрузки между плитами пресса и испытываемым образцом помещают прокладки (рис. 2.1.) из трехслойной фанеры. Длина прокладок должна быть не менее длины образца а ширина должна составлять 1/3 длины ребра куба.

2.4.4. Испытание образцов на раскалывание силой, направленной в продольном (схема 2) и диагональном (схема 3) направлениях, выполняется аналогично испытаниям образцов при сжатии с фиксацией максимального значения раскалывающей силы, достигнутой в процессе испытаний.

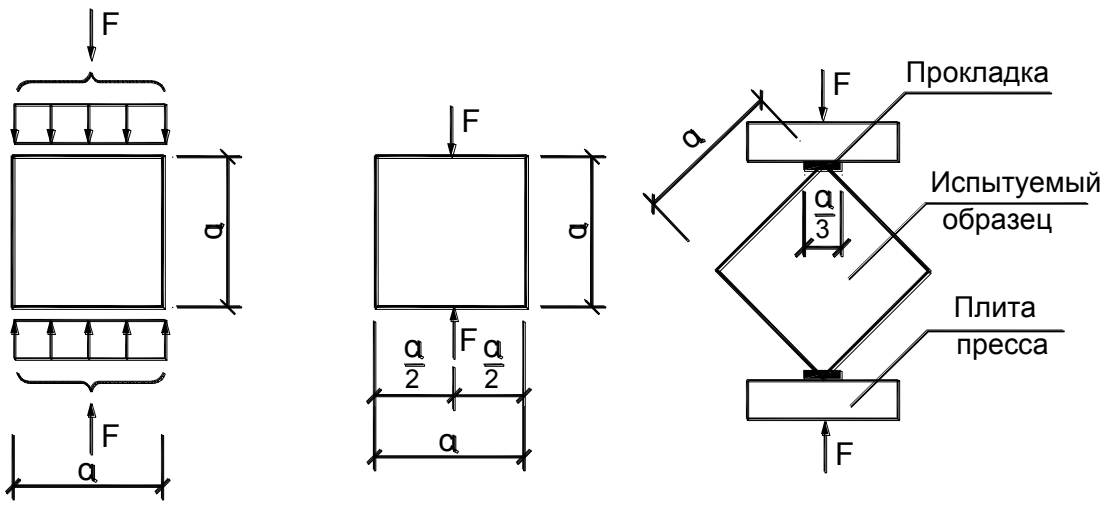


Рис. 2.1. Схемы испытания образцов: схема 1 – на сжатие; схема 2 – на раскалывание силой, действующей в продольном направлении; 3 – на раскалывание силой, действующей в диагональном направлении

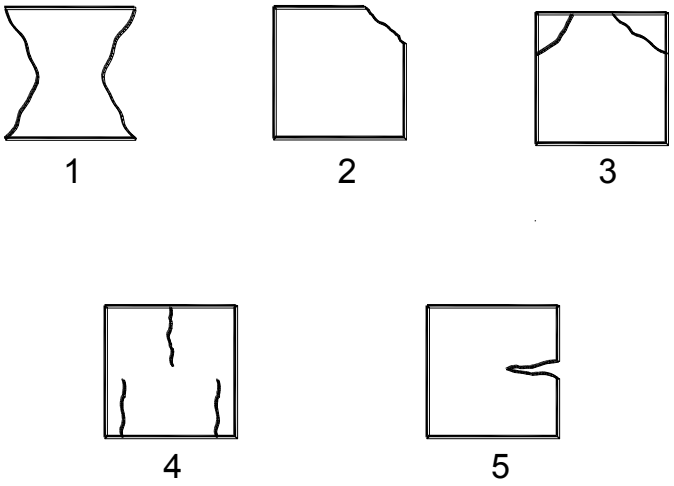


Рис. 2.2. Возможные схемы разрушений образцов при испытаниях на сжатие: 1 – нормальное разрушение; 2 – 5 – дефектные разрушения

2.4.5. Прочность бетона для каждого образца следует вычислять с точностью до 0,01 МПа (0,1кгс/см^2) при испытаниях на сжатие и до 0,1 МПа (1кгс/см^2) при раскалывании по формулам:

на сжатие

$$R = \beta \frac{F}{A}; \qquad (2.1)$$

на растяжение при раскалывании по схеме 2 (рис.2.1)

$$R_{tt} = \gamma \frac{2F}{\pi A}; \qquad (2.2)$$

на растяжение при раскалывании по схеме 3 (рис 2.1)

$$R^*_{tt} = \frac{0{,}5187F}{a^2}, \qquad (2.3)$$

где F – разрушающая нагрузка; A – площадь рабочего сечения образца; а – длина ребра куба; β, γ – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона испытанных образцов к прочности в образцах базового размера (табл. 2.1).

Прочность бетона, определяется как среднее арифметическое в серии: из двух образцов – по двум образцам, из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам.

Таблица 2.1

Размеры ребра куба, мм	Масштабные коэффициенты		
	Сжатие, β	Растяжение при раскалывании γ	
	всех видов бетонов, кроме ячеистого	тяжелого бетона	мелкозернистого бетона
70	0,85	0,78	0,87
100	0,95	0,88	0,92
150	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05

Результаты определения прочности бетона образцов при сжатии и растяжении разрушающими и представляют в табличной форме (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Номер образца	Испытание на сжатие				Испытание на раскалывание		
	Размеры образца	A, см^2	F, кН	R, МПа	a, см	F, кН	R^*_{tt}, МПа

По среднему значению прочности $\overline{R}$ из табл.2.2 определяется класс бетона при сжатии и нормативные и расчетные сопротивления по (2.4)…(2.9).

Класс бетона по прочности на сжатие определяется по формуле

$$B = \overline{R} - \chi\sigma \qquad (2.4)$$

или

$$B = \overline{R}(1 - \chi v_m), \qquad (2.5)$$

где $v_m = \dfrac{\sigma}{\overline{R}}$ – средний коэффициент вариации прочности бетона;

σ- среднее квадратическое отклонение (стандарт);

χ- показатель надежности (число стандартов).

Коэффициент вариации прочности бетона принимается по результатам испытаний, выполненных в лабораторной работе № 1 (табл. 1.4), а показатель надежности χ=1,64, что соответствует обеспеченности нормативной кубиковой прочности бетона не менее 0,95. Нормативная призменная прочность бетона определяется по эмпирической формуле

$$R_{bn} = B(0{,}77 - 0{,}00125B), \text{ но не менее } 0{,}72B. \qquad (2.6)$$

Нормативное сопротивление бетона осевому растяжению определяется по формуле

$$R_{btn} = 0{,}5K\sqrt[3]{B^2}, \qquad (2.7)$$

где К=0,8 – для бетонов класса В35 и ниже, К=0,7– для бетонов класса В40 и выше.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию определяют по формуле

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_{bc}}, \qquad (2.8)$$

где γ_{bc}= 1,3- коэффициент надежности по бетону при сжатии.

Расчетное сопротивление бетона растяжению:

$$R_{bt} = \frac{R_{btn}}{\gamma_{bt}}, \qquad (2.9)$$

где γ_{bt}= 1,5- коэффициент надежности по бетону при растяжении.

2.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о качестве поверхности образцов, наличии сколов ребер и раковин, о размерах дефектов, дают результаты измерений образцов, расчеты рабочей площади сечения; указывают величины максимального усилия, достигнутого в процессе испытания образцов, приводят расчеты прочности бетона при сжатии и растяжении, находят средние значения прочности в каждой партии образцов, заполняют табл.2.2, выполняют сравнение прочности с неразрушающими методами (в лабораторной работе № 1), определяют класс бетона, нормативные и расчетные характеристики бетона.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к качеству поверхности образцов, предназначенных для испытаний?
2. Почему кубиковая прочность бетона не используется в расчетах конструкций непосредственно?
3. По какой причине прочность бетона при растяжении чаще определяется косвенными методами?
4. Каким образом изменяется кубиковая прочность при сжатии с уменьшением размеров образцов?
5. Как выполняется контроль схемы разрушения бетонных образцов при испытании на сжатие?
6. Показать схему нормального разрушения бетонного куба при сжатии.
7. Как определяется рабочая площадь сечения образца?
8. Каково соотношение прочности бетона при сжатии и растяжении?
9. По каким схемам выполнялись испытания образцов в лабораторной работе?
10. Почему прочность бетона при сжатии является базовой характеристикой?
11. От каких факторов зависит прочность бетона при растяжении?

Литература

[4, с.1-17]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение химического состава стали на спектрометре эмиссионном СПАС-02

3.1. Цель работы

Определить химический состав арматурной стали гладкой и с периодическим профилем, предназначенной для армирования железобетонных конструкций.

3.2. Задание

- подготовить образцы;
- провести испытание гладкой арматурной стали;
- провести испытание арматурной стали с периодическим профилем;
- проанализировать полученные результаты;
- написать отчет.

3.3. Краткие теоретические сведения

Одним из широко распространенных в настоящее время методов исследований неравновесной газоразрядной плазмы, используемой в технологии производства изделий электронной техники, является оптическая диагностика, заключающаяся в регистрации и анализе собственного излучения плазмы в широком интервале длин волн – от ультрафиолета (200 – 400 нм) до ближнего ИК диапазона (600 – 900 нм).

Целый ряд достоинств, присущих этому методу, в первую очередь бесконтактность, а также возможность получения обширной информации о плазме ее составе (и его изменении в ходе процесса обработки либо в зависимости от внешних параметров разряда) и ее основных параметрах (и их пространственно-временном распределении) делают его широко используемым, а подчас и единственно применимым для изучения плазменных процессов.

Для регистрации спектра излучения плазмы используют монохроматоры или спектрографы (спектрометры). В последние годы разработаны и стали доступными весьма эффективные, удобные, надежные, компьютеризированные спектрометры с датчиком на ПЗС-линейке. Типичным представителем этого семейства является отечественный спектрометр S100, предлагаемый к использованию и изучению в данной работе. Следует отметить, что подобные спектрометры производимые в Республике Беларусь находятся в числе лучших мировых образцов и широко экспортируются в страны ближнего и дальнего зарубежья.

При исследовании и контроле различных плазменных процессов обработки поверхности важно иметь информацию о компонентном составе плазмы и его изменении во времени. Такую информацию в значительной мере позволяет получить метод эмиссионной спектроскопии, кроме того имеются возможности и в определении температур: электронов, ионов, вращательной и колебательной молекул, газовой. Даже при использовании относительно простой

плазмообразующей газовой смеси, в результате процессов диссоциации молекул и химических реакций различного типа между образующимися в плазме частицами получается большое множество одно-, двух-, трехатомных и более крупных частиц. Каждая из этих частиц имеет характерный спектр излучения, атомы – линейчатый, молекулы – полосатый, и спектры рассматриваемых частиц, накладываясь дуг на друга, создают весьма сложный по своей структуре спектр излучения плазмы, идентифицирование элементов которого не является простой задачей. Молекулярные спектры, наблюдаемые с помощью приборов со средней дисперсией, имеют вид полос, с одной стороны ограниченных резким краем – кантом, а с другой стороны постепенно ослабевающих до нуля. Этот постепенный спад интенсивности называют оттенением полосы. В зависимости от его расположения со стороны длинных или коротких волн различают красное или фиолетовое оттенение. Иногда полосы имеют несколько кантов (как бы ступенчатый вид), в редких случаях канты совсем отсутствуют, тогда в спектральных таблицах приводятся значения длины волны относящийся к максимуму полосы, а не к канту. Иногда, при сложном виде полос, указывается лишь спектральный интервал занимаемый ими.

Под системой молекулярных полос понимают группу полос, обладающих рядом общих свойств, таких как: одновременное появление, расположение в определенной части спектра, одинаковое оттенение (или вид), ширина.

При наблюдении молекулярных полос приборами большой разрешающей силы обнаруживается, что полоса состоит из отдельных линий, расстояние между которыми постепенно увеличивается по мере удаления от канта. Это вращательная структура полосы. Линии принадлежащие этой структуре соответствуют оптическим переходам отличающимися только вращательным квантовым числом в верхнем или нижнем состояниях. Полоса соответствует переходу с определенными колебательными квантовыми числами верхнего и нижнего состояний молекулы, а система полос соответствует определенному «электронному» переходу. Таким образом, молекулярный спектр является электронно-колебательно-вращательным, тогда как атомарный спектр – электронным (т. е. обусловлен возбуждением только по электронным степеням свободы атомов).

Идентифицировать спектр – это значит установить принадлежность линий и полос определенным атомам, молекулам и ионам. С этой целью определяют длины волн линий и полос, а также вид полос. Для точного определения длин волн элементов спектра осуществляют градуировку спектрального прибора (или ее проверку и нахождение поправок) по известному и относительно простому спектру, например по спектру ртутной лампы. Затем сопоставляют полученные данные с данными известных таблиц и атласов, принимая во внимание условия наблюдения спектра (тип разряда, его мощность, состав плазмообразующего газа и контактирующих с плазмой поверхностей твердых тел). Проведение качественного эмиссионного спектрального анализа позволяет установить наряду с продуктами деструкции молекул плазмообразующего газа и продукты взаимодействия плазмы с обрабатываемой поверхностью, проследить

в ряде случаев динамику процесса обработки, что особенно важно при травлении и удалении тонких пленок и решении проблемы контроля техпроцессов.

Лабораторная работа проводится в Центре коллективного пользования Воронежского ГАСУ

3.4. Выполнение работы

3.4.1. Подготовка опытных образцов

Форма и размеры образцов, подлежащих анализу, должны как можно ближе соответствовать форме и размеру используемых стандартных образцов. При анализе крупногабаритных деталей отклонения результата будут, скорее всего, невелики.

Стандартные образцы (ГСО) подготавливаются в соответствии с инструкцией по применению соответствующего комплекта стандартных образцов, являющейся Приложением к Свидетельству на комплект ГСО.

При использовании стандартных образцов на основе алюминия и меди, их затачивают, на плоскость на токарном станке до получения ровной и плоской поверхности, для доводки поверхности используется шлифовальный станок с вращающимся абразивным диском на бумажной или тканой основе

При использовании стандартных образцов твердых сплавов (сталей, никелевых сплавов и т.д.) лучше использовать шлифовальный станок или шлифовальную машину, применяя шлифовальную шкурку №40 или №60 или наждачный круг. Старайтесь при заточке на круге не заваливать края образцов.

Наличие шлаковых включений или пор на поверхности образца, следов ржавчины, краски, и.т.п, приводит, как правило, к плохим пятнам обжига и, как следствие, к плохим результатам анализа.

3.4 2. Проведение испытаний и обработка результатов

Подключить спектрометр к сети переменного однофазного тока 220 В, 50 Гц стандартным сетевым кабелем, входящим в комплект поставки.

Подключить к спектрометру монитор, клавиатуру и мышь из комплекта поставки.

Присоединить спектрометр к редуктору аргонового баллона с помощью трубки из полиэтилена (полиуретана) высокого давления, входящей в комплект поставки.

К выходу использованного аргона присоединить пластиковую трубку длиной не менее 2 м, входящую в комплект поставки.

Присоединить спектрометр к вакуумному насосу при помощи вакуумного шланга, входящего в комплект поставки.

Подсоединить кабель питания вакуумного насоса в специальный разъем на задней панели прибора.

Перед включением спектрометра проверить, чтобы все электрические соединения были выполнены согласно схеме соединений, трубка подачи аргона

подключена к спектрометру и редуктору на баллоне, вакуумный насос соединен шлангом со штуцером откачки спектрометра.

Включить тумблер спектрометра «Сеть». При наличии электрического питания загорается индикаторная лампа тумблера.

Нажать кнопку «Пуск» для включения встроенного компьютера.

Открыть вентиль баллона с аргоном ВЧ, вращая ручку редуктора давления на баллоне с аргоном установить давление 2-3 Атм.

Дождаться загрузки операционной системы. Запустить программу СПЛАВ-ИВС.

Нажать кнопку «Газ» на панели программы СПЛАВ-ИВС

Нажать кнопку «Откачка» на панели программы СПЛАВ-ИВС

Для проверки правильности показаний сделать серию измерений контрольного образца для установленной аналитической методики и сравнить результаты с таблицей, приведенной в описании аналитической методики. При наличии существенных систематических отклонений контрольных значений концентраций для элементов, указанных в описании аналитической методики, провести корректировку методики.

3.5. Содержание отчета

В отчете приводят марку стали по ГОСТ испытанных образцов с указанием химических элементов, соответствующих установленной марке стали.

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование используется для испытаний образцов?
2. Каким параметром определяется готовность спектрометра к работе?
3. Какую поверхность должны иметь образцы?
4. Какой порядок определения химического состава стали на спектрометре эмиссионном СПАС-02?

Литература

[5, с.1-15]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
Определение механических характеристик арматурной стали

4.1. Цель работы

Определить механические свойства арматурной стали гладкой и с периодическим профилем, предназначенной для армирования железобетонных конструкций.

4.2. Задание

- подготовить образцы;
- провести испытание арматурной стали на растяжение;
- определить полное относительное удлинение при максимальной нагрузке;
- измерить относительное удлинение после разрыва;
- вычислить относительное, равномерное удлинение после разрыва;
- определить относительное сужение после разрыва;
- рассчитать временное сопротивление;
- вычислить предел текучести физический или предел текучести условный;
- определить модуль упругости (начальный);
- написать отчет.

4.3. Краткие теоретические сведения

Механические свойства арматурной стали определяют путем ее испытания на растяжение с построением диаграммы, отражающей зависимость удлинения образца Δl от величины нагрузки p. По характеру диаграмм "$p-\Delta l$" стали разделяют на три группы:

1. стали с явно выраженной площадкой текучести (мягкие стали);
2. стали с неявно выраженной площадкой текучести ("твердые стали");
3. стали с линейной зависимостью "$p-\Delta l$" почти до разрыва (высокопрочная проволока).

Основной механической характеристикой арматурной стали является модуль упругости и предел текучести – физический или условный, по величине которого устанавливают нормативное и расчетное сопротивление арматуры растяжению. Пластические свойства стали характеризуются ее относительным удлинением при максимальной нагрузке и после разрыва. Малые предельные удлинения могут послужить причиной хрупкого обрыва арматуры под нагрузкой и разрушения конструкции. Высокие предельные удлинения свидетельствуют о пластичности стали, что благоприятно сказывается на работе железобетонных конструкций при динамических и циклических нагрузках. Умение определять механические характеристики стали имеет большое значение для проверки соответствия ее требованием ГОСТа [5], а также при выполнении расчетов связанных с выявлением резерва несущей способности железобетонных конструкций. Механические свойства арматурной стали определяют путем ее испытания на растяжение при температуре (20^{+15}_{-10})°С.

4.4. Выполнение работы

4.4.1. Подготовка опытных образцов

Для испытания на растяжение отбирают образцы арматуры круглого или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром от 3,0 до 12 мм.

Полная длина образца арматуры выбирается в зависимости от рабочей длины образца и конструкции захвата испытательной машины, при этом рабочая длина образца (расстояние между захватами испытательной машины) должна быть не менее 200 мм.

Перед испытанием допускается проводить правку образца плавным давлением на него или легкими ударами молотка по образцу, лежащему на подкладке. Подкладка и молоток должны быть из более мягкого материала, чем образец.

Площадь поперечного сечения образцов арматуры периодического профиля A_s, см^2, вычисляют по формуле

$$A_s = \frac{m}{\rho \cdot l}, \qquad (4.1)$$

где m – масса испытуемого образца, кг;

l – длина испытуемого образца, м;

ρ – плотность стали, 7850 кг/м^3.

Начальную расчетную длину l_0 измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Диаметры круглых образцов арматуры номинальным диаметром от 3,0 до 40,0 мм измеряют штангенциркулем или микрометром.

Массу испытываемых образцов арматуры периодического профиля номинальным диаметром менее 10 мм определяют с погрешностью не более 1,0 г, образцов арматуры диаметром от 10 до 20 мм – с погрешностью не более 2,0 г, а образцов диаметром более 20 мм – с погрешностью не более 1 % от массы образца.

Образцы арматурной стали взвешивают на весах, а длину образца измеряют металлической линейкой.

При проведении испытаний должны соблюдаться требования:

- надежное центрирование образца;
- плавность нагружения;
- средняя скорость нагружения при испытании до предела текучести не должна быть более 10 МПа (1 кгс/мм^2) в секунду; за пределом текучести скорость нагружения может быть увеличена так, чтобы скорость перемещения подвижного захвата машины не превышала 0,1 рабочей длины испытуемого образца в минуту; шкала силоизмерителя испытательной машины не должна превышать пятикратного ожидаемого значения наибольшей нагрузки P для испытываемого образца арматуры.

При определении условного предела текучести с помощью тензометра относительная длина деления шкалы тензометра не должна превышать 0,05 % базы тензометра.

Перед испытанием образец на длине больше рабочей длины размечается на *n* равных частей при помощи меток, наносимых делительной машиной, скобками или керном. Расстояние между метками для арматуры диаметром 10 мм и более не должно превышать величину *d* и быть кратным 10 мм. Для арматуры диаметром менее 10 мм расстояние между метками принимается равным 10 мм. Допускается при разметке образцов расстояние между метками принимать более 10 мм и превышающим величину *d*, но не более величины начальной расчетной длины l_0.

Если число интервалов *n*, соответствующее начальной длине образца, получается дробным, его округляют до целого в большую сторону.

4.4 2. Проведение испытаний и обработка результатов

Величину относительного удлинения δ_p, % вычисляют по формуле

$$\delta_p = \frac{l_\text{р} - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad . \qquad (4.2)$$

В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к букве добавляют индекс. Например, при начальной расчетной длине, равной $5d$ – δ_5, при 100 мм – δ_{100} и т. д.

Конечную длину образца lp после разрыва, определяют следующим способом.

После испытания части образца складывают вместе, располагая их по прямой линии. От места разрыва в одну сторону откладывают *n*/2 интервалов и ставят метку *a*. Если величина *n*/2 оказывается дробной, то ее округляют до целого числа в большую сторону. Участок от места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал.

От метки *a* откладывают в сторону разрыва *n* интервалов и ставят метку *b* (рис. 4.2). Отрезок *ab* равен полученной по месту разрыва конечной расчетной длине $l_\text{р}$.

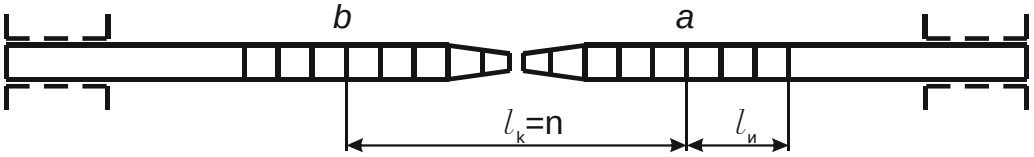


Рис. 4.1

Если место разрыва ближе к краю захвата машины чем величина *n*/2 (рис.3.3), то полученную после разрыва конечную расчетную длину $l_к$ определяют следующим образом: от места разрыва до крайней метки *q* у захвата определяют число интервалов, которое обозначают *m*/2. От точки *q* к месту разрыва откладывают *m* интервалов и ставят метку *c*. Затем от метки *c* откладывают *n*/2 – *m*/2 интервалов и ставят метку *e*.

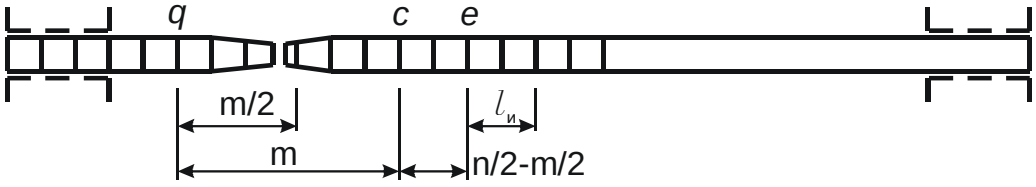


Рис. 4.2

Конечную расчетную длину образца $l_р$, мм, вычисляют по формуле

$$l_р = cq+2ce, \qquad (4.3)$$

где cq и ce - соответственно длина участка образца между точками c и q и c и e.

Если место разрыва находится на расстоянии от захвата, меньшем чем длина двух интервалов или 0,3 l_0 – для образцов диаметром менее 10 мм, величина расчетной длины не может быть достоверно определена и проводят повторное испытание.

Равномерное относительное удлинение δ определяется во всех случаях вне участка разрыва на начальной расчетной длине равной 50 или 100 мм. Измеряют конечную расчетную длину образца $l_к$ по меткам, соответствующим начальной расчетной длине. При этом расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины для арматуры диаметром 10 мм и более должно быть не менее 3d и более 5d, а для арматуры диаметром менее 10 мм – от 30 до 50 мм.

Величину равномерного относительного удлинения δ , %, вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{l_к - l_0}{l_0} \cdot 100\% . \qquad (4.4)$$

Конечные расчетные длины $l_к$ и $l_р$ измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Относительное удлинение и относительное, равномерное удлинение после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 %. При этом доли до 0,25 % отбрасывают, а доли 0,25 % и более принимают за 0,5 %.

Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} может быть определено одним из способов:

– с помощью тензометров или иных специальных приборов позволяющих измерять деформации образца вплоть до разрушения;

– суммированием остаточной деформации после разрушения образца с упругими деформациями при максимальной нагрузке по формуле

$$\delta_{max} = \delta_р + \frac{\sigma_в}{E_н} \cdot 100\% . \qquad (4.5)$$

Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), вычисляют с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм^2) по формуле

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{A_s} . \qquad (4.6)$$

Результаты испытаний и вычислений заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты испытаний

№№	m, кг	l, м	A_s, см^2	N, кН	$\sigma_в$, МПа	δ	$\delta_р$

Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), вычисляют с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм^2) по формуле

$$\sigma_т = \frac{P_т}{A_s}. \qquad (4.7)$$

Условные предел текучести может быть определен аналитическим и графическим способами.

Тензометр на образец устанавливают после приложения начальной нагрузки, соответствующей 0,05-0,10 ожидаемой величины временного сопротивления $\sigma_{‰}$.

Нагрузка прикладывается равными или пропорциональными этапами, так чтобы до нагрузки, соответствующей искомому пределу, было не менее 8-10 этапов нагружения, считая от начальной нагрузки.

При достижении суммарной нагрузки, соответствующей 0,7-0,9 искомого предела, рекомендуется уменьшить величину этапа нагружения в два или четыре раза.

Выдержка при постоянной нагрузке на каждом этапе нагружения без учета времени приложения нагрузки должна быть не более 10 с.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ определяют аналитическим способом. Вычисляют величину остаточной деформации $\Delta l = 0{,}2\ \%$ базы тензометра; затем определяют среднюю величину упругой деформации Δl_y на одном этапе нагрузки, исходя из величины средней деформации, найденной на этапах нагружения в интервале 0,10-0,40 предполагаемого усилия, соответствующего пределу текучести, а для арматурных канатов в интервале 0,10-0,40 временного сопротивления.

Нагрузка $P_{0,2}$, при которой будет обеспечено равенство $\Delta l = \sum \Delta l_у + \Delta l_т$, соответствует условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$ в МПа (кгс/мм^2), который вычисляется с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм^2) по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{A_s}. \qquad (4.8)$$

Графический способ определения условного предела текучести: строится диаграмма растяжения "нагрузка – удлинение". По оси ординат откладывают нагрузку, а по оси абсцисс – соответствующее удлинение (рис. 4.4).

На диаграмме проводится прямая, параллельная участку пропорциональной зависимости $P - \Delta l$ на расстоянии от прямой части диаграммы вправо по оси абсцисс в направлении, равном заданной величине допуска на условно-мгновенную пластическую деформацию для условного предела текучести. Си-

ла, соответствующая пределу текучести, определяется точкой пересечения этой прямой с диаграммой растяжения.

При определении условного предела текучести графическим способом диаграмму растяжения $P-\Delta l$ строят в таком масштабе, при котором 0,1 % деформации образца соответствует участок оси ординат длиной не менее 10 мм, а нагрузке, примерно соответствующей условному пределу текучести, – участок оси абсцисс не менее 100 мм.

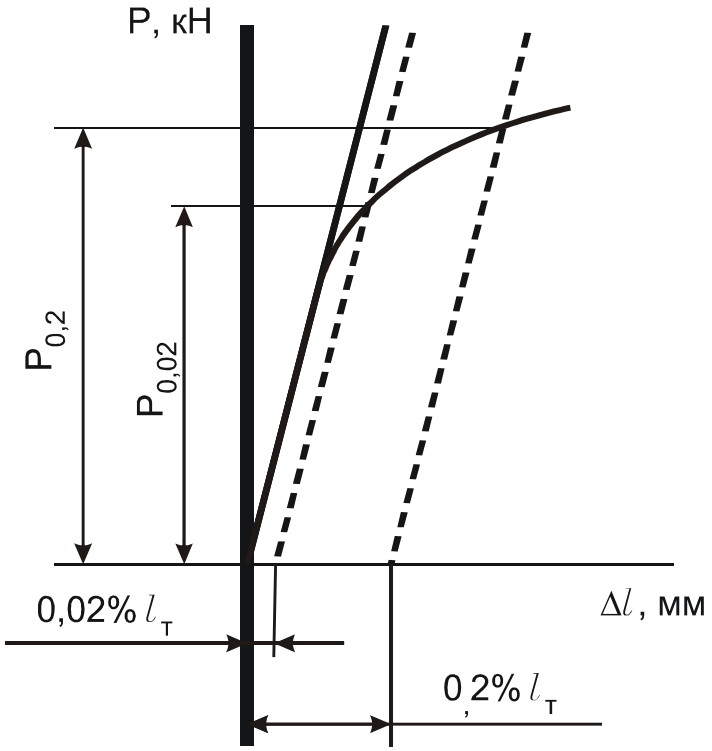


Рис. 4.3. Диаграмма растяжения "нагрузка – удлинение"

Допускается определение условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ по машинной диаграмме с проведением периодических контрольных испытаний с помощью тензометров.

Примеры определения условного предела текучести приведены в прил. 2.

Для стержней и проволоки начальный модуль упругости принимают равным отношению приращения напряжений в интервале от 0,1 до $0{,}35P_{\max}$ к относительному удлинению образца в том же интервале нагружения.

Начальный модуль упругости $E_{\text{н}}$ определяется с погрешностью не более 1 % по формуле

$$E_0 = \frac{\left(P_{0,35} - P_{0,10}\right)l_0}{\left(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,10}\right)F_0}. \qquad (4.9)$$

При этом в интервале от *0,1* до $0{,}35P_{\max}$ должно быть не менее трех последовательных этапов нагружения.

За результат испытания принимаются механические свойства, полученные при испытании каждого образца. Количество образцов для испытаний указывается в нормативно-технической документации на арматурную сталь.

Результаты испытаний не учитываются в следующих случаях:

- при разрыве образца по нанесенным меткам, если при этом какая-либо характеристика механических свойств по своей величине не отвечает установленным требованиям;
- при разрыве образца в захватах испытательной машины;
- при обнаружении ошибок в проведении испытаний или записи результатов испытаний.

4.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения об образцах для испытаний, результаты измерений геометрических размеров, массы образцов, порядок приложения нагрузки, диаграммы деформирования, результаты испытаний и расчетов.

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование используется для испытаний образцов?
2. Как определяется начальная площадь образцов?
3. Как определяется начальный модуль упругости по диаграмме деформирования образцов?
4. Какой порядок определения условного и физического пределов текучести по диаграмме деформирования образцов?

Литература

[5, с.35-55]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
Определение расчетного сопротивления каменной кладки

5.1. Цель работы

Определить прочность силикатного кирпича при сжатии и изгибе, прочность раствора при сжатии, расчетное сопротивление каменной кладки.

5.2. Задание

– измерить линейные размеры образцов, нанести на боковые поверхности вертикальные осевые линии;
– выполнить нагружение образцов при сжатии и изгибе согласно схемам испытаний;
– определить прочность силикатного кирпича при сжатии и изгибе;
– определить марку силикатного кирпича;
– определить прочность раствора на сжатие;
– определить марку раствора;
– определить расчетное сопротивление кирпичной кладки;
– оформить отчет;
– ответить на контрольные вопросы.

5.3. Краткие теоретические сведения

Кирпич при работе в составе каменной кладки находится в условиях сложного напряженного состояния – подвергается одновременно сжатию, изгибу, растяжению, срезу, смятию. Причинами этого являются: неоднородность растворной постели, различия между деформационными свойствами кирпича и раствора, наличие вертикальных швов в каменной кладке, неоднородность кирпича, а также отклонения геометрической формы камней от правильной.

Появление первых трещин в каменной кладке происходит в кирпиче под или над вертикальными швами, что вызвано изгибом и срезом кирпича, а также концентрацией напряжений. Нагрузка, при которой появляются первые трещины, зависит от физико-механических свойств камня и раствора, качества выполнения горизонтальных швов, возраста кладки. Таким образом, определение прочности кирпича имеет важное значение при проектировании каменных конструкций.

5.4. Выполнение работы

5.4.1. Испытание образцов кирпича на изгиб

Образец устанавливают на двух опорах пресса. Нагрузку прикладывают посередине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рис. 5.1. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20…60 с после начала испытаний.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа (кгс/см^2), образца вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \qquad (4.1)$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца МН (кгс);

l – расстояние между осями опор, м (см); b – ширина образца, м (см);

h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, м (см).

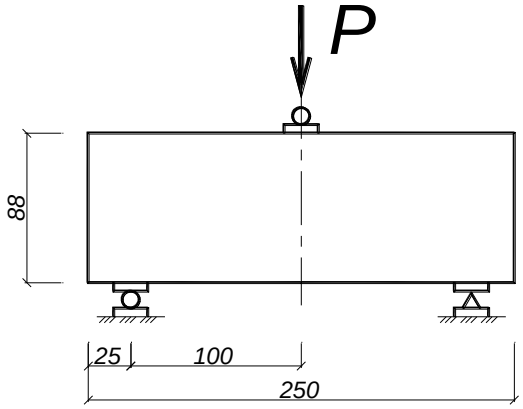


Рис. 5.1. Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе образцов вычисляют с точностью 0,05 МПа (0,5 кгс/см^2) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

5.4.2. Испытание образцов кирпича на сжатие

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах, состоящих из двух целых кирпичей или из двух его половинок. Кирпич делят на половинки распиливанием или раскалыванием. Допускается определять предел прочности при сжатии на половинках кирпича, полученных после испытания его на изгиб. Кирпичи или его половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны.

На боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20…60 с после начала испытания. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа (кгс/см^2), образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{N}{F}, \qquad (5.2)$$

где N – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН (кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, м^2 (см^2).

При вычислении предела прочности при сжатии образцов из двух целых кирпичей толщиной 88 мм или из двух их половинок результаты испытаний умножают на коэффициент К=1,2.

Предел прочности при сжатии образцов вычисляют с точностью до

0,1 МПа (1 кгс/см^2) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

Предел прочности при изгибе определяют по фактической площади изделия без вычета площади пустот.

Результаты определения прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе представляют в табличной форме (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Результаты определения прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе

№№	*b*, см	*h*, см	*l*, см	P, кг	$R_{изг}$, МПа	F, см^2	N, кг	$R_{сж}$, МПа	Марка М

Марку кирпича по прочности устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе, указанных в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Определение марки кирпича по результатам испытаний

Марка изделия	Предел прочности, не менее мПа (кгс/см^2)					
	при сжатии		при изгибе			
	всех изделий		всех изделий		всех изделий	
	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов
300	30,0 (300)	25,0 (250)	4,0 (40)	2,7 (27)	2,4 (24)	1,8 (18)
250	25,0 (250)	20,0 (200)	3,5 (35)	2,3 (23)	2,0 (20)	1,6 (16)
200	20,0 (200)	15,0 (150)	3,2 (32)	2,1 (21)	1,8 (18)	1,3 (13)
175	17,5 (175)	13,5 (135)	3,0 (30)	2,0 (20)	1,6 (16)	1,2 (12)
150	15,0 (150)	12,5 (125)	2,7 (27)	1,8 (18)	1,5 (15)	1,1 (11)
125	12,5 (125)	10,0 (100)	2,4 (24)	1,6 (16)	1,2 (12)	0,9 (9)
100	10,0 (100)	7,5 (75)	2,0 (20)	1,3 (13)	1,0 (10)	0,7 (7)
75	7,5 (75)	5,0 (50)	1,6 (16)	1,1 (11)	0,8 (8)	0,5 (5)

4.4.3. Определение марки раствора

Прочность раствора на сжатие определяется на образцах-кубах размерами 70,7×70,7×70,7 мм через 28 суток твердения. Перед испытанием образец измеряют штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм.

Образец устанавливают на нижнюю плиту пресса по центру относительно его оси так, чтобы основанием служили грани, соприкасавшиеся со стенками формы при его изготовлении.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью (0,6 ± 0,4) МПа [(6 ± 4) кгс/см^2] в секунду до его разрушения.

Предел прочности раствора на сжатие R вычисляют для каждого образца с погрешностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см^2) по формуле

$$R = \frac{P}{A}, \qquad (5.3)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; A – рабочая площадь сечения образца, см^2.

Рабочую площадь сечения образцов определяют по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней. Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов. Результаты определения прочности раствора при сжатии представляют в табличной форме (табл.4.3). Марку раствора по прочности устанавливают по пределам прочности при сжатии и изгибе, указанных в табл. 5.4.

Таблица5.3

Результаты определения прочности раствора при сжатии

Номер образца	Рабочая площадь сечения образца A, см^2	Разрушающая нагрузка P, МН (кгс)	Прочность $R_{сж}$, МПа (кгс/см^2)
1			
2			
3			

Таблица 5.4

Предел прочности раствора при сжатии

Марка изделия	Предел прочности раствора при сжатии, не менее Мпа (кгс/см^2)	
	средний для 3 образцов	наименьший для 3 образцов
200	20,0 (200)	15,0 (150)
150	15,0 (150)	12,5 (125)
100	10,0 (100)	7,5 (75)
75	7,5 (75)	5,0 (50)
50	5,0 (50)	3,75 (37,5)
25	2,5 (25)	1,75 (17,5)
10	1,0 (10)	0,75 (7,5)
4	0,4 (4)	0,3 (3)

5.4.4. Определение расчетного сопротивления кладки

Расчетные сопротивления R сжатию кладки из кирпича всех видов на тяжелых растворах определяют по табл. 4.5.

Таблица 5.5

Расчетные сопротивления сжатию кладки из кирпича

Марка кирпича	Расчетные сопротивления *R*, МПа (кгс/см^2), сжатию кладки из кирпича всех видов на тяжелых растворах									
	при марке раствора								При прочности раствора	
	200	150	100	75	50	25	10	4	0,2(2)	нулевой
300	3,9(39)	3,6(36)	3,3(33)	3,0(30)	2,8(28)	2,5(25)	2,2(22)	1,8(18)	1,7(17)	1,5(15)
250	3,6(36)	3,3(33)	3,0(30)	2,8(28)	2,5(25)	2,2(22)	1,9(19)	1,6(16)	1,5(15)	1,3(13)
200	3,2(32)	3,0(30)	2,7(27)	2,5(25)	2,2(22)	1,8(18)	1,6(16)	1,4(14)	1,3(13)	1,0(10)
150	2,6(26)	2,4(24)	2,2(22)	2,0(20)	1,8(18)	1,5(15)	1,3(13)	1,2(12)	1,0(10)	0,8(8)
125	-	2,2(22)	2,0(20)	1,9(19)	1,7(17)	1,4(14)	1,2(12)	1,1(11)	0,9(9)	0,7(7)
100	-	2,0(20)	1,8(18)	1,7(17)	1,5(15)	1,3(13)	1,0(10)	0,9(9)	0,8(8)	0,6(6)
75	-	-	1,5(15)	1,4(14)	1,3(13)	1,1(11)	0,9(9)	0,7(7)	0,6(6)	0,5(5)
50	-	-	-	1,1(11)	1,0(10)	0,9(9)	0,7(7)	0,6(6)	0,5(5)	0,35(3,5)
25	-	-	-	0,9(9)	0,8(8)	0,7(7)	0,6(6)	0,45(4,5)	0,4(4)	0,25(2,5)

5.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о качестве поверхности образцов, наличии сколов и раковин, результаты измерений образцов, величину разрушающей нагрузки, полученной в процессе испытаний, описывают расчет прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе, прочности раствора при сжатии, определяют расчетное сопротивление кирпичной кладки. Результаты испытаний заносят в табл. 4.1 и 4.3.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к качеству поверхности образцов?
2. В каком напряженном состоянии находится кирпич в каменной кладке?
3. По каким схемам выполнялись испытания образцов?
4. Как определяется площадь сечения образцов при испытаниях на сжатие?
5. Как определяется предел прочности раствора на сжатие?
6. Как устанавливают марку кирпича по прочности?

Литература

[6, с.1-25; 7, с.1-20; 8, с.1-40]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Измерение трехмерной топологии и параметров микрорельефа поверхности композитов сканирующим зондовым микроскопом NanoEducator

6.1. Цель работы

Получить навыки работы на учебно-исследовательском сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ) «Nanoeducator».

6.2. Задание

1. изучить основы сканирующей зондовой микроскопии;
2. ознакомиться с принципом работы и устройством учебно-исследовательского СЗМ «Nanoeducator»;
3. подготовить зондовый датчик методом электрохимического травления;
4. провести сканирование образцов на СЗМ «Nanoeducator» и получить изображение;
5. оформить отчет о лабораторной работе.

6.3. Краткие теоретические сведения

Наноструктурированная поверхность и происходящие на ней явления (например, адсорбция и катализ) вызывают все возрастающий интерес исследователей, инженеров и технологов. В большинстве случаев морфология поверхности определяет эксплуатационные и физико-химические свойства материала. Так, значительное увеличение скоростей определенных химических взаимодействий на поверхности происходит в присутствии катализаторов, у которых активность непосредственно связана с морфологией поверхности и дисперсностью.

Большинство методов по исследованию морфологии поверхности на микро- и наноуровне масштаба, таких как рентгеновская и ионная дифракция, дифракция медленных электронов, электронная оже- спектроскопия позволяют получить только усредненную по поверхности образца картину расположения атомов и не дают информации о высоте и форме поверхностных структурных элементов. Более того, использование этих методов не дает возможности в деталях разглядеть морфологию поверхностной структуры, требует высокого вакуума, а также не исключают изменений поверхности образца. Например, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), которая позволяет увидеть псевдотрёхмерное изображение наноструктурных объектов, не может дать истинного трёхмерного пространственного представления о рельефе, а для получения высокого разрешения требует высокого вакуума и организации электропроводящего покрытия, деформирующего анализируемую поверхность.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) - один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности

твердого тела с высоким пространственным разрешением. За последние 10 лет сканирующая зондовая микроскопия превратилась из экзотической методики, доступной лишь ограниченному числу исследовательских групп, в широко распространенный и успешно применяемый инструмент исследования свойств поверхности. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкопленочных технологий не обходится без применения методов СЗМ. Развитие сканирующей зондовой микроскопии послужило также основой для развития новых методов в нанотехнологии - технологии создания и коррекции структур с нанометровыми масштабами.

Использование сканирующего зондового микроскопа в режиме сканирующей туннельной (СТМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволяет решить частично перечисленные проблемы и изучать рельеф как проводящих, так и диэлектрических материалов. Таким образом, использование СЗМ значительно упрощает решение ряда задач для изучения материалов наноразмерного уровня. Нанотехнологические подходы, использующие сканирующие зонды, базируются на научном фундаменте и технических приемах, разработанных для СТМ и АСМ. В их основе лежит возможность позиционирования с высокой точностью атомарно острого зонда вблизи поверхности образца.

В настоящей лабораторной работе студент приобретает навыки работы на сканирующем зондовом микроскопе учебноисследовательского уровня (СЗМ «Nanoeducator»).

Лабораторная работа проводится в Центре коллективного пользования Воронежского ГАСУ.

6.4. Выполнение работы

6.4.1. Приборы и принадлежности

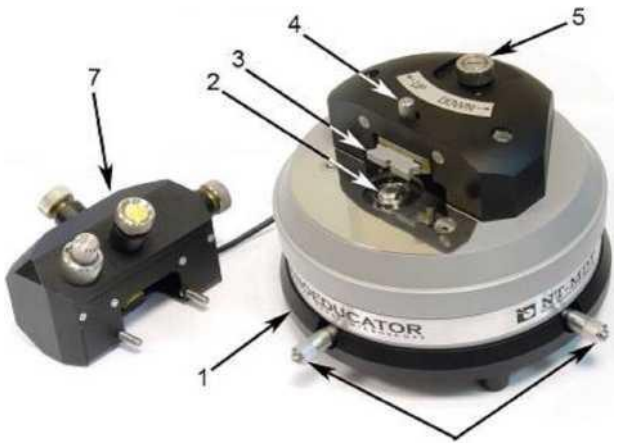
СЗМ «Nanoeducator», устройство для электрохимического травления, весы аналитические, химическая посуда (стакан стеклянный на 100 мл, цилиндр мерный на 10 мл, пластиковый цилиндр мерный на 10 мл, чашка. Петри на 10-20 мл, стакан для слива, ножницы, пинцет.

6.4.2. Расходные материалы и объекты исследования

Образцы из набора СЗМ «Nanoeducator», вольфрамовая проволока, натрия гидроксид (ч.д.а.), дистиллированная вода.

6.4.3. Сканирование поверхности и получение изображения на СЗМ «Nanoeducator».

Устройство измерительной головки СЗМ «Nanoeducator». На рис.6.1. представлен внешний вид измерительной головки СЗМ «Nanoeducator» и обозначены основные элементы прибора, используемые при работе.



1 - основание,
2 - столик для образца,
3 - датчик взаимодействия (держатель зонда),
4 - винт фиксации датчика (держателя зонда),
5 - винт для ручного подвода зонда,
6 - винты для перемещения столика с образцом,
7 - крышка с видеокамерой и винтами для ее перемещения.

Рис. 6.1. Внешний вид измерительной головки СЗМ «Nanoeducator»

1) Получите у преподавателя образец для сканирования.
2) Положите образец на столик (поз. 2, рис.6.1) в измерительной головке СЗМ «Nanoeducator».
3) Аккуратно и без усилий переведите поворотом ручки 5 в направлении «Up» гнездо держателя зонда в верхнее положение.
4) Аккуратно и без усилий вставьте держатель с зондом в измерительную головку и укрепите болтом (4) держатель в головке.
5) Закройте зону сканирования крышкой с камерой (7).
6) Включите тумблер питания контроллера микроскопа и запустите программу Nanoeducator и в окне выберите режим работы с микроскопом
7) С помощью преподавателя проведите процедуру отыскания резонансной частоты колебаний зонда, управляя настройками в окне «Резонанс» (рис.6.2). В результате удачной настройки резонансный пик должен быть одиночным, амплитуда колебаний должна несколько превысить 2 В, добротность колебаний должна находиться в пределах значений от 25 до 45. Сохраните изображение резонансного пика, нажав соответствующую кнопку в окне программы и закройте окно «Резонанс».
8) С помощью преподавателя выполните процедуру подведения зонда к анализируемой поверхности, контролируя процесс в окне «Подвод» (рис.6.3). Не пытайтесь использовать для точного подведения к поверхности прямой визуальный контроль и ручную регулировку винтом 5 - используйте для этого только кнопки окна «Подвод». В результате удачной настройки столбиковый индикатор «Z сканер» должен находиться в верхней половине шкалы (выше среднего положения, - в области трёх верхних делений). Если в результате «Быстрого» подведения индикатор переместился в нижнюю

часть шкалы, то кнопкой с стрелкой вверх выполните поднятие зонда на несколько десятков шагов и подведите его снова, но уже в режиме медленного подвода (снимите метку напротив слова «Быстро». По окончании процедуры сохраните изображение окна «Подвод» на рабочем столе нажатием комбинации клавиш <Shift-Cmd-4>, и переместите это изображение в личную папку.

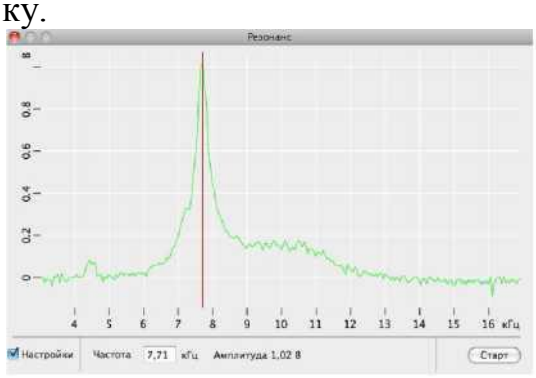


Рис.6.2. Окно процедуры резонансной колебаний зонда.

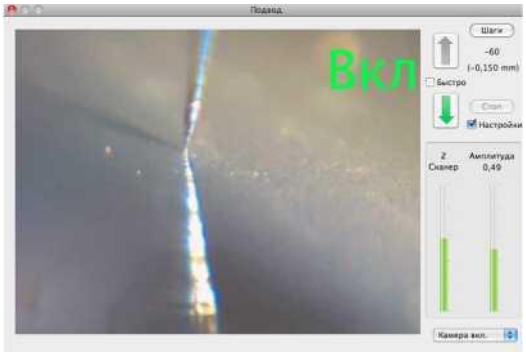


Рис.6.3. Окно контроля настройки процедуры подведения зонда к частоты анализируемой поверхности образца.

9) Закройте окно «Подвод», вызовите вкладку настройки сканирования и с помощью преподавателя внимательно ознакомьтесь с её содержимым. Если вкладка настроек сканирования пуста, то убедитесь, что вы закрыли окна поиска резонанса и подведения зонда.
10) Рекомендуемые значения пробного сканирования следующие: на квадратном поле размером 70000×70000 нм выберите разрешение не более 300; скорость прямого хода сканера должна находиться в пределах 5-10 мкм/с, обратного - 10-15 мкм/с . Ползунок усиления обратной должен находиться на значении 2-3.
11) После проверки настроек преподавателем запустите процедуру сканирования кнопкой «Пуск» основного окна программы и наблюдайте построение 3D-поверхности анализируемого образца. При получении изображений неудовлетворительного качества повторите процедуру настройки параметров сканирования: если на изображении наблюдаются срывы строк сканирования, то увеличьте разрешение в 1,5-2 раза и уменьшите значения скорости сканирования на 10-20%; если на изображении присутствует высокочастотный шум (рябь), то уменьшите усиление обратной связи до значения 2. Если качество изображения не улучшится, то повторите процедуру поиска резонанса и подведения зонда к поверхности.
12) По окончании сканирования полученное изображение будет автоматически передано в программу визуализации и обработки «ScanViewer».

6.5. Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен включать:

- название работы;
- цель каждого опыта;
- глоссарий (используемые в работе термины);
- краткое описание сканирующей зондовой микроскопии;
- устройство измерительной головки и электролизера СЗМ Nanoeducator;
- экспериментальные данные (принтскрины процесса травления и подведенного зонда к поверхности образца, фотографию готового зонда, снимки профиля резонансного пика, снимок подведённого к образцу зонда, 2D и 3D изображения полученного скана поверхности);
- выводы о методах, используемых в работе для подготовки зондового датчика и сканирования поверхности.

Контрольные вопросы

1. Что такое наноматериалы?
2. Что относят к морфологическим характеристикам поверхности?
3. В чем заключается принцип работы СЗМ?
4. Какие виды СЗМ вы знаете?
5. В чем заключается принцип организации обратной связи?
6. В чем отличие АСМ от СТМ?
7. В чем заключается электрохимическое травление?
8. Как выглядит измерительное устройство СЗМ Nanoeducator?
9. Как работает электролизер СЗМ Nanoeducator?

Литература

[9, с.34-45]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Измерение размеров и формы частиц в суспензиях, эмульсиях, порошках и аэрозолях анализатором гранулометрическим FRITSCH

7.1. Цель работы

Приобретение навыков студентами проведения анализа распределения наночастиц, полученных с применением анализатора гранулометрического FRITSCH, по размерам с использованием метода лазерного дифракционного измерения, получение навыков работы на анализаторе величины удельной поверхности.

7.2. Задание

- подготовить образцы;
- провести испытание минерального вяжущего (портландцемент М500 Д 0);
- провести испытание порошкообразного наполнителя – зола-унос;
- проанализировать полученные результаты;
- написать отчет.

7.3. Краткие теоретические сведения

Для проведения работы используемся составная часть эмулятора лазерного дифракционного анализатора размеров частиц Fritsch Analysette-22 Nanotech, который позволяет определять распределение частиц по размерам в суспензиях, эмульсиях, и аэрозолях.

По сравнению с «классическими» методами измерения - рассевом, седиментацией, анализа по микроскопическому изображению - лазерная дифракция обладает рядом преимуществ, таких как короткое время анализа, хорошая воспроизводимость и точность результатов, простая калибровка, большой диапазон измерений (для Fritsch Analysette-22 Nanotech от 10 нм до 2000 мкм) и высокая универсальность.

Метод лазерной дифракции, основан на зависимости угла рассеяния света на частицах от их размеров (чем больше размер, тем меньше рассеяние). Сквозь кювету с исследуемым образцом проходит лазерный луч, интенсивность рассеянного света снимается с фоточувствительного детектора. Частицы в параллельном лазерном луче отклоняют свет на постоянный угол, величина которого зависит от диаметра частиц. Линза фокусирует рассеянный свет кольцеобразно на детекторе, который установлен в фокальной плоскости линзы, в то время как непреломлённый свет сходится в фокальной точке на оптической оси. Каждый индивидуальный размер частиц локализует определённый угол рассеяния.

Лабораторная работа проводится в Центре коллективного пользования Воронежского ГАСУ, общий вид установки представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид лазерного дифракционного анализатора Fritsch Analysette-22 Nanotech

С помощью комплексной математики из распределения интенсивности рассеянного света можно рассчитать распределение частиц по размерам в коллективе рассеивающихся частиц. В результате получают диаметр частицы лазерной дифракции, диаметр которой эквивалентен шару с одинаковым распределением рассеянного света. Измеряются средние объемные диаметры и получающееся распределение частиц по размерам является распределением по объему. Этот расчёт в Fritsch Analysette-22 Nanotech может быть произведён как на основе теории Фраунгофера, так и на основе теории Ми.

Теория Фраунгофера, основанная на дифракции света на кромках частицы, справедлива, только тогда, когда диаметр частиц больше, чем длина волны и частицы непрозрачны. При этом предполагается, что все частицы рассеивают свет в равной степени.

Для частиц, размер которых сравним с длиной волны и меньше, а также для учёта оптических свойств частиц использует теорию Ми. Эта теория описывает излучение для всех пространственных направлений в и около гомогенной частицы в гомогенной, неабсорбирующей среде. Частицы могут быть не только прозрачными, но и полностью абсорбирующими. Оптические свойства входят в расчёты в качестве комплексного индекса дифракции.

В лазерном анализаторе размеров частиц Fritsch Analysette-22 Nanotech используется принцип «обратной оптики Фурье». Согласно этому принципу, измерение осуществляется при помещении пробы в сходящийся лазерный пучок, а рассеянное излучение передается непосредственно на детектор. Таким образом, измерительный диапазон определяется не фокусным расстоянием линзы, а расстоянием между измерительной ячейкой и детектором. Соответственно, большее удаление измерительной ячейки позволяет производить измерения в большем диапазоне.

Поскольку угол рассеяния обратно пропорционален размеру частиц, крупные частицы рассеивают излучение под малым углом (рассеяние вперед). Рассеяние частицами разных размеров хорошо различимо. С уменьшением размеров частиц свет, рассеянный ими в прямом направлении, несет в себе все меньше информации. Угол рассеяния становится все больше пока, наконец, свет не начинает рассеиваться в боковых и обратных направлениях. Для регистрации таких частиц в Fritsch Analysette-22 Nanotech используются боковые и задние детекторы, а также свойство мелких частиц рассеивать поляризованный свет с различной интенсивностью параллельно и перпендикулярно направлению поляризации.

Излучение, проходя через измерительную ячейку, рассеивается вперед и регистрируется светочувствительными элементами детектора рассеянного света. Детектор имеет в центре микроотверстие, через которое лазерное излучение попадает на фотодиод для определения полного поглощения. Вокруг этого микроотверстия расположены концентрические светочувствительные элементы, площади которых в целях компенсации слабой рассеивающей способности малых частиц увеличиваются по мере удаления от центра. Во внутренней зоне детектора элементы имеют очень малый размер, что позволяет также с высоким разрешением регистрировать излучение, рассеиваемое крупными частицами. Для секционирования отдельных элементов применяются самые современные полупроводниковые технологии.

Рассеянное излучение не может покидать измерительную ячейку под углами любой величины, так как при переходе из оптически более плотной в менее плотную среду под определенным углом начинается полное внутреннее отражение. Поэтому оптические стекла измерительных ячеек Analysette-22 имеют призматическое, широкоугольное исполнение, благодаря которому рассеянное излучение может выходить под большим углом. На детекторе это излучение регистрируется специальными широкоугольными элементами. С помощью такой конструкции в прямом направлении (нижний предел измерений -0,1 мкм) охватывается диапазон углов рассеяния до ~ 60°.

Частицы нанометрового диапазона рассеивают излучение под значительно большими углами. В Fritsch Analysette-22 NanoTec для измерений используется обратный лазер, излучение которого сзади проходит через то же самое микроотверстие в детекторе и после рассеяния в измерительной ячейке воспринимается детектором как обратное рассеянное излучение в угловом диапазоне 60 - 180°.

За счет оптимизированной геометрии детектора дополнительно осуществляются регистрация и анализ рассеивающего действия наночастиц, различного для параллельного и перпендикулярного направлений относительно поляризации лазера. Нижний предел измерений при такой конструкции составляет -10 нм.

7.4. Выполнение работы

1. Выберете пункт меню «Лазерный анализатор размера частиц» в соответствующем разделе эмулятора АПК “Нанохим” для запуска программы

эксперимента.

2. Для установки начальных параметров, необходимо нажать на кнопку «Setup».

3. Выбираем подпункт «Set Measuring Range» (установить диапазон измерения).

4. Так как исследуемый образец представляет собой нанопорошок, необходимо выбрать съёмку в области нано. Для этого необходимо поставить галочку напротив пункта «Activate Measuring Range Nano».

Здесь же задаётся диапазон измерения, после чего можно применить заданные параметры, нажав кнопку «Ok».

5. Во всплывающем окне так же необходимо нажать на кнопку «Ok». После чего необходимо повторно нажать на кнопку «Ok».

6. Требуется настроить параметры математической модели - необходимо выбрать исследуемый материал из списка. Для этого снова нужно выбрать в меню кнопку «Setup».

Выбираем пункт «Set Calculation Mode» (выбрать режим отчёта параметров).

7. Откроется меню, в котором предлагается выбрать исследуемый твёрдый материал (Solid) и тип жидкости, в которой он распределён.

Для того чтобы облегчить поиск, наберите первую букву в названии искомого вещества «Z». Подтвердите ввод нажатием клавиши «Enter». После этого выберете пункт «Zincoxide» (оксид цинка), для указания параметров расчётной модели. Затем подтвердите ввод нажатием «Ok».

8. Осталось настроить режим работы ячейки. Для этого требуется выбрать пункт «Measurement».

Далее выше выберете пункт «Sample Dilution» (разбавление образца).

Так как ячейка была предварительно отчищена, уберём галочку с пункта «Clean Fill before Meas».

9. Все параметры заданы, образец загружен, осталось запустить эксперимент, нажав кнопку «Start Measurement».

10. После завершения измерения, прибор предлагает просмотреть развёрнутый отчёт. Нажмите кнопку «Нет».

Для просмотра данных об измерении можно нажать кнопку «Show Graphical Presentation» на панели инструментов сверху.

По результатам исследования строится гистограмма распределения частиц по размерам, которая даёт оценить дисперсность и агрегативную устойчивость нанопорошков.

12. Эксперимент окончен.

7.5. Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен включать:

- название работы;
- цель каждого опыта;
- глоссарий (используемые в работе термины);

- краткое описание полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. На чём основан метод лазерной дифракции?
2. Какие преимущества метода лазерной дифракции перед другими методами определения распределения размеров частиц?
3. Какие материалы можно исследовать с помощью установки Fritsch Analysette-22 Nanotech?
4. Зачем в установке нужен ультразвук?
5. Для чего необходимо знать распределение частиц по размерам?

Литература

[9, с.35-55]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 22690 – 88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Издательство стандартов, 1991.
2. ГОСТ 17624-87. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Издательство стандартов, 1987.
3. Рекомендации по определению прочности бетона эталонным молотком Кашкарова по ГОСТ 22690.2-77. – М.: Стройиздат, 1985.
4. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Издательство стандартов, 1990.
5. ГОСТ 12004 – 81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1981.
6. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М.: Издательство стандартов, 1986.
7. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1987.
8. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М.: ЦНИИСК, 1995.
9. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. - Нижний Новгород: Изд. РАН. - 2005. - 114 с.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Определение прочности бетонных образцов неразрушающими методами 4

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Определение прочности бетона при сжатии и растяжении по контрольным образцам 13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Определение химического состава стали на спектрометре эмиссионном СПАС-02 18

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Определение механических характеристик арматурной стали 22

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Определение расчетного сопротивления каменной кладки 29

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Измерение трехмерной топологии и параметров микрорельефа поверхности композитов сканирующим зондовым микроскопом NanoEducator 34

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Измерение размеров и формы частиц в суспензиях, эмульсиях, порошках и аэрозолях анализатором гранулометрическим FRITSCH 39

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 44

Конструкционные свойства строительных композитов

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по специальности
08.04.01 «Строительство»
всех форм обучения

Составители: к.т.н., доц. Пинаев Сергей Александрович,
к.т.н., доц. Чмыхов Виталий Александрович
к.т.н., доц. Поликутин Алексей Эдуардович

Подписано в печать . . . Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л 2,875.
Усл.-печ. л. 3,0. Бумага писчая. Тираж ___ экз. Заказ № _____.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84