



УДК 691 328

И.В. Боровских – аспирант

Н.М. Морозов – кандидат технических наук, ассистент

В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ТОНКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

АННОТАЦИЯ

В статье показаны свойства песков для тонкозернистого бетона с различным фракционным составом. Рассчитан и экспериментально проверен оптимальный гранулометрический состав. Показано положительное влияние базальтового волокна на свойства тонкозернистого бетона.

I.V. Borovskikh – post-graduate student

N.M. Morozov – candidate of the technical sciences, assistant

V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor, head of Technologies of the Building Materials, Product and Designs department

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE OPTIMIZATION OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SAND FOR GETTING HIGHLY TENSILE CLOSE-GRAINED CONCRETE

ABSTRACT

This article considers the properties of sand for close-grained concrete with different fractional composition. The optimal granulometric composition is experimentally verified and calculated. The positive influence of basalt fiber on the properties of close-grained concrete was indicated.

Важнейшую роль в формировании физико-механических свойств тонкозернистых бетонов играет качество и состав заполнителей. При этом рекомендуется использовать фракционированный песок с крупностью до 1,0 мм [1]. Одним из условий получения бетонов высокой прочности является минимальная пустотность и однородность его структуры, достигаемая исключением грубой зернистости и подбором соответствующих фракций [2, 3].

При оптимизации зернового состава заполнителя тонкозернистого бетона мы использовали песок Камского месторождения, который был рассеян на четыре фракции 1,25-0,63; 0,63-0,315; 0,315-0,14; 0,14-0,063. Путем регулирования их весового соотношения был получен песок с наибольшей насыпной плотностью, т.е. с максимальной упаковкой зерен. В статье приведены фракционные составы песка с наибольшей насыпной плотностью (табл. 1).

При этом насыпная плотность песка варьируется в интервале от 1390 до 1748 кг/м³. При уплотнении песка его плотность увеличивается до значений от 1680 до 1953 кг/м³ в зависимости от фракционного состава. Кроме максимальной упаковки зерен песка, важную роль при получении тонкозернистых бетонов играет удельная поверхность заполнителя, влияющая на водопотребность бетонной смеси, и площадь сцепления зерен заполнителя

с цементной матрицей [4]. Удельная поверхность песка изменяется от 19,8 до 158,4 см²/г, а пустотность в уплотненном состоянии от 28,7 до 37,7%. Максимальной плотностью и, следовательно, минимальной пустотностью обладает состав № 8.

Дальнейшая обработка полученных экспериментальных данных произведена методами регрессивного анализа на программном комплексе MathCad. Аппроксимирующая функция от четырех аргументов (варьируемые факторы фракционного состава) была построена на основе сплайн функций второго порядка методом наименьших квадратов. При этом окрестность аппроксимации опытных данных в каждой точке была принята радиусом 1%. При помощи программного комплекса MathCad была решена задача максимизации (наибольшей насыпной плотности и плотности в уплотненном виде фракционируемого заполнителя) целевой функции четырех аргументов.

Таким образом, для насыпной плотности песка, равной 1966 кг/м³, необходим фракционный состав, приведенный в таблице 2. Полученный состав гранулометрии имеет следующие расчетные характеристики:

- насыпная пустотность 32%;
- пустотность в уплотненном виде 28%;
- удельная поверхность по формуле Ладинского $S_3=41,5 \text{ см}^2/\text{г}$;
- модуль крупности 2,4.



Таблица 1

Свойства фракционированных песков

№. состава	Содержание фракций, %				Плотность, кг/м ³		Пустотность, %		Модуль крупности, М _к	Удельная поверхн. по Ладинскому [6], см ² /г
	1,25-0,63	0,63-0,315	0,3 15 - 0,14	0,14-0,063	насыпная	в уплотн. виде	насыпная	в уплотн. виде		
1	Песок Камского месторожд. 33 37 24 6				1605	1775	39,4	33	2,35	23,1
2	100				1520	1680	46,4	40,3	1,5	19,80
3		100			1550	1692	45,2	40,0	1,5	30,60
4			100		1535	1737	46,0	38,4	1,5	79,20
5				100	1390	1641	51,3	41,8	1,5	158,40
6	70		10	20	1706	1906	39,6	32,0	2,5	49,50
7	60			40	1694	1921	40,0	31,3	1,6	59,40
8	60	10	10	20	1732	1835	38,4	30,9	3,1	55,44
9	60		20	20	1694	1812	40,0	31,6	2,4	59,40
10	60	10	30		1691	1846	40,0	34,3	2,3	39,60
11	60		10	30	1727	1953	38,8	30,1	2,3	67,32
12	50	30	10	10	1691	1882	40,0	32,8	3,2	45,54
13	50	10	20	20	1728	1880	36,2	29,0	2,9	61,38

Таблица 2

Оптимальная гранулометрия песка

Насыпная						В уплотненном виде					
Содержание фракций, %				Плотность, кг/м ³		Содержание фракций, %				Плотность, кг/м ³	
1,25-0,63	0,63-0,315	0,315-0,14	0,14-0,063	расчетная	фактическая	1,25-0,63	0,63-0,315	0,3 15 - 0,14	0,14-0,063	расчетная	фактическая
64,4	6,7	24,9	4	1966	1810	64,1	12,1	22,8	1	2170	1910

Таблица 3

Свойства тонкозернистого бетона

№ сост.	Фракционный состав песка				В/Ц	Подвижность (распльв конуса), мм	Прочность после 7 суток нормального твердения, МПа		Прочность после 28 суток нормального твердения, МПа	
	1,25-0,63	0,63-0,315	0,315-0,14	0,14-0,063			при изгибе	на сжатие	при изгибе	на сжатие
1	Не фракционированный 33 37 24 6				0,36	113	5,81	40,1	6,75	52,0
2	70		10	20	0,31	111	8,49	54,5	10,71	74,4
3	60			40	0,36	113	8,22	49,8	10,52	64,7
4	60	10	10	20	0,33	114	6,75	45,3	8,54	60,1
5	60		20	20	0,33	111	8,68	41,9	11,11	54,8
6	60	10	30		0,32	113	8,72	41,3	11,07	53,5
7	60		10	30	0,33	112	8,38	44,8	10,56	58,3
8	50	30	10	10	0,33	114	6,35	43,9	8,26	57,3
9	50	10	20	20	0,34	113	8,82	44,7	11,2	58,2
Расч.	65	5	25	5	0,30	112	9,26	58,3	12,91	76,0



Исходя из расчетов по оптимальному фракционному составу песка для тонкозернистого бетона, а также полученных в ходе эксперимента составов с наибольшей плотностью, были изготовлены тонкозернистые бетоны составов Ц:П=1:1 (табл. 3). Тонкозернистые бетоны были изготовлены на цементе марки ПЦ 500 Д0 ООО «Вольскцемент».

Как видно из табл. 3, все составы на фракционированных песках превосходят состав на не фракционированном песке. Приближенный к рассчитанному состав песка показал при испытании наилучшие результаты. По сравнению с контрольным, прочность при изгибе возросла на 28 сутки нормального твердения в 1,9 раза, а на сжатие – в 1,5 раза.

Получение высокопрочных тонкозернистых бетонов заключается не только в использовании оптимальной granulometрии заполнителя, но и в использовании активных минеральных ультрадисперсных наполнителей, обладающих пуццолановыми свойствами, и суперпластификаторов, которые наиболее полно проявляют себя в цементно-песчаных смесях с высоким содержанием вяжущего [5]. Тонкозернистый бетон является также наилучшей средой для дисперсного армирования. Исключение из состава бетона крупного заполнителя позволяет наиболее полно использовать дисперсную арматуру в его среде, что благоприятно сказывается на физико-механических характеристиках тонкозернистого бетона.

Основываясь на проведенных нами ранее исследованиях, были изготовлены образцы, дисперсно-армированные базальтовым волокном длиной 8,9-9,1 мм, диаметром 10 мкм.

Процедура введения и распределение базальтового волокна исследованы нами в работе [7]. Волокно вводилось путем совместного помола с цементом, суперпластификатором и микрокремнеземом. Данный способ обеспечивает более полное распределение волокна в среде портландцемента и исключает образование комков при приготовлении бетонной смеси.

На оптимальных фракционных составах песка и полученных смесях вяжущего с различным процентным содержанием базальтового волокна были

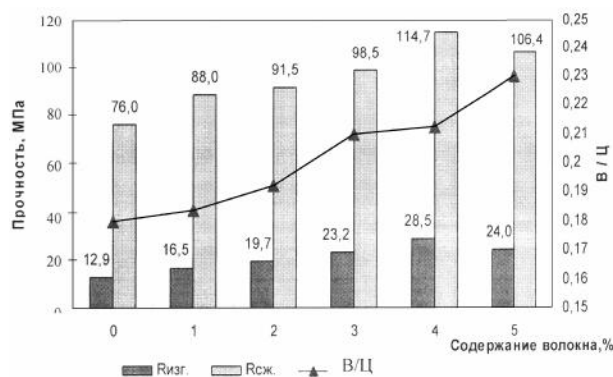


Рис. Прочностные показатели тонкозернистого базальтофибробетона

изготовлены образцы тонкозернистого бетона с отношением Ц:П 1:1. Прочности дисперсно-армированного тонкозернистого бетона в 28-суточном возрасте нормального хранения представлены на рис.

Как видно из рисунка, наилучший результат показал состав с 4% содержанием волокна. Его прочность на изгиб превосходит контрольный состав без волокна более чем в 2,2 раза по прочности на растяжение при изгибе и в 1,5 раза по прочности на сжатие. Следует также отметить, что при увеличении процентного содержания волокна водопотребность смеси увеличивается незначительно, что говорит о хорошем распределении волокна в смеси тонкозернистого бетона.

При одноминутном помоле в пружинной мельнице базальтового волокна в среде портландцемента остаток комков волокна составляет не более 1% от исходной навески.

Однако здесь следует учитывать как общее количество волокна, так и распределение его по длине при помоле. При известных геометрических размерах волокон и истинной плотности можно подсчитать процентное содержание волокна после его распределения в мельнице, как показано в табл. 4.

Как видно из табл. 4, после помола до полного распределения волокна в смеси остается 2,71% при изначальном содержании 3%. Большое значение здесь имеет и процентное распределение волокна по длине

Таблица 4

Содержание волокна при совместном помоле с цементом

Исходный процент волокна	Суммарное количество волокна в 0,1 г готовой смеси, шт./г						Содержание волокна в готовой смеси, %
	l = 7-9 мм	l = 5-7 мм	l = 3-5 мм	l = 1-3 мм	l < 1 мм	Итого	
3%	150 / 9,43*10 ⁻⁴	199 / 9,38*10 ⁻⁴	185 / 5,90*10 ⁻⁴	121 / 1,90*10 ⁻⁴	57 / 0,45*10 ⁻⁴	712 / 27,1*10 ⁻⁴	2,71



после помола. При уменьшении длины теряются армирующие свойства волокна. Здесь следует отметить, что при помоле с цементом в диапазоне длины от 9 до 3 мм остается 75% всех волокон.

Таким образом, нами показана возможность улучшения свойств тонкозернистого бетона путем регулирования гранулометрии заполнителей. При помощи программного комплекса MathCad решена задача получения наибольшей насыпной плотности и плотности в уплотненном виде фракционируемого заполнителя. Прочность при изгибе тонкозернистого бетона с использованием оптимального гранулометрического состава песка превосходит в 1,9 раза прочность состава на не фракционированном песке, а на сжатие – в 1,5 раза. Дисперсное армирование базальтовым волокном оптимизированного состава увеличивает его прочность на изгиб в 2,2 раза, а прочность на сжатие – в 1,5 раза.

Литература

1. Баженов Ю.М. Высококачественный тонкозернистый бетон. // Строительные материалы, 2000, № 2. – С. 24-25.
2. Клаус Хольшемахер, Франк Ден. Технология и исследования производства ультравысокопрочного бетона УНFB. // Международное бетонное производство, 2004, №3. – С. 28-34.
3. Морозов Н.М. Дорожные песчаные бетоны, уплотняемые методом зонного нагнетания. // Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2007. – 18 с.
4. Калашников В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения. // Популярное бетоноведение, 2008, № 6. – С. 5-7.
5. Мелкозернистые бетоны: Учеб. пособие / Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Л.Б. Гольденберг. – М.: МГСУ, 1998. – 148 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
7. Боровских И.В., Хозин В.Г. Особенности введения базальтового волокна в цементную матрицу. // Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008». Том 1. – Воронеж, 2008. – С. 60-64.