

Е.А. Крылов, Д.В. Зелинский, В.И. Мартынов

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ЭФФЕКТИВНОГО ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЯЖУЩЕГО С ПРИМЕНЕНИЕМ МОЛОТОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА

На основании комплексного вяжущего, с применением молотого доменного шлака, разработан ряд составов с улучшенными эксплуатационными свойствами неавтоклавнового ячеистого бетона. Принята оценка критерия качества эффективного порового пространства образцов конструкционно-теплоизоляционного газобетона плотностью 500кг/м³.

Ключевые слова: поровое пространство, интегральная пористость, макроструктура, полидисперсная структура, наполнитель.

Постановка проблемы

Ячеистый бетон – экологически чистый материал с пористой структурой.

Содержания макро- и микропор в структуре бетона, соотношение их объемов, распределение пор по размерам оказывают существенное влияние на эксплуатационные показатели бетона – сорбционную влажность, паропроницаемость, капиллярный подсос, водопоглощение, коэффициент размягчения, морозостойкость и теплопроводность. Значения этих показателей существенно влияют на уровень комфортности жилых помещений [1].

Эксплуатационные свойства ячеистого бетона также зависят от структурных характеристик материала (интегральной и дифференцированной пористости) и особенностей геометрии порового пространства. Практика применения ряда материалов с открытыми порами, например, кирпича, крупнопористого бетона, показывает хорошую работу их в период эксплуатации, если при осуществлении конструкций учтены специфические свойства этих материалов.

Бетон с сообщающимися порами будет обладать большим капиллярным подсосом, чем бетон с замкнутыми порами, вследствие чего снизятся влажностные перепады в соседних слоях материала, высыхание ячеистого бетона будет более равномерным и менее длительным. В результате этого уменьшится опасность появления усадочных трещин в изделиях и тем самым будет повышена их долговечность.

Соображения о том, что с повышением прочности материал становится долговечнее, не имеет достаточного основания. Всегда следует иметь в виду, что для ячеистого газобетона, с точки зрения долговечности, важнее обеспечить надлежащий влаж-

ностный режим в период эксплуатации, чем сообщить ему высокую прочность.

Также необходимо выделить основные технологические факторы, которые позволят из множества рецептурно-технологических соотношений выбрать такие, которые обеспечат получение газобетона с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Анализ последних исследований и публикаций

Структуру ячеистого бетона можно рассматривать как зернистую среду, в которой роль зерен выполняют газовоздушные поры, контактирующие между собой через тонкие прослойки цементной матрицы, имеющие в свою очередь зернистое строение. Поэтому свойства ячеистого бетона будут отражать особенности строения и свойств зернистой среды, учитывающей характер и прочность контактов, качество, морфологию, дисперсность и плотность упаковки зерен.

Один из первых кто системно подошел к изучению структурообразования и связывания свойств ячеистых бетонов со структурными характеристиками был А.П. Меркин. Проанализировав влияние пор и межпоровых перегородок (мембран) на свойства ячеистых материалов А.П. Меркиным дана формулировка: «оптимальной ячеистой пористостью следует считать равномерно распределенную в объеме материала пористость с полидисперсными по размерам порами несферической формы, разделенными тонкими и плотными межпоровыми перегородками с гладкой поверхностью пор. Форма пор должна приближаться к форме додекаэдра (правильного двенадцатигранника)». Из этого следует, что свойства ячеистых бетонов отождествляют с характером структуры.

Исследования по выявлению оптимального размера наполнителей для ячеистых бетонов проводились А.П.Меркиным [2], М.Синицей [3], Д.А.Киселёвым [4]. В приведенных исследованиях в качестве наполнителя использовался кварцевый немолотый и молотый песок, а также влияние его удельной поверхности на свойства ячеистого бетона.

Цель приведённой статьи заключается в оценке критерия качества эффективной пористости образцов неавтоклавно конструкционно-теплоизоляционного газобетона плотностью 500кг/м³ на основе комплексного вяжущего с применением молотого доменного шлака, а также особенностей процессов структурообразования цементного камня с учетом влияния технологических факторов.

Изложение основного материала

Материалы, применяемые при исследовании.

- 1) Портландцемент ПЦІ-500-Д0 по ДСТУ БВ.2.7-46:2010 ПАО «Волынь-цемент» (г.Здолбунов);
- 2) Гранулированный доменный шлак ГДШ 2 сорта, ПАО «Днепропетровский меткомбинат им.Ф.Э. Дзержинского» (г.Днепропетровск) молотый до удельной поверхности 1490см²/г согласно прибору Р.Л. Блейна; Истинная плотность порошка-2940г/см³;
- 3) Суперпластификатор «ПОЛИПЛАСТ СП-1» с ненормированным воздухововлечением.

Объект исследований. Ячеистый бетон изготовленный на комплексном вяжущем с применением молотого доменного шлака с заданной удельной поверхностью и обеспечением консистенции растворной смеси на вискозиметре Суттарда 240±5мм.

Предмет исследований. Физико-механические свойства комплексного вяжущего и газобетона на его основе, а также математические модели этих свойств.

Для решения поставленных целей применяли математический метод планирования эксперимента согласно стандартному плану Бокса-Бенкина тип В-3. Полная информация о переменных факторах приведена в табл. 1.

Таблица 1. Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Наименование фактора	Уровень варьирования			Интервал
	-1	0	+1	
X ₁ -портландцемент (Ц)	40	45	50	5
X ₂ -молотый доменный шлак (Ш)	0	10	20	10
X ₃ -суперпластификатор (СП)	0	0,3	0,6	0,30

Определяли следующие свойства: открытая (кажущаяся) пористость (по водопоглощению), закрытую и общую пористость газобетона. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 Матрица планирования эксперимента и основные свойства

№ п/п	Факторы			Закрытая пористость, %	Открытая пористость, %	Общая пористость, %	Критерий качества пористости
	X ₁	X ₂	X ₃				
	Ц	Ш	СП				
1	-	-	-	35	38,6	73,6	1,91
2	+	-	-	37,6	37,7	75,3	2,00
3	-	+	-	32,1	41,8	73,9	1,77
4	+	+	-	41,1	36,9	78	2,11
5	-	-	+	28,2	47,8	76	1,59
6	+	-	+	27	48,9	75,9	1,55
7	-	+	+	17,3	54	71,3	1,32
8	+	+	+	36,2	39,3	75,5	1,92
9	-	0	0	31,2	45	76,2	1,69
10	+	0	0	30,4	45,4	75,8	1,67
11	0	-	0	33,5	43,2	76,7	1,78
12	0	+	0	28,3	47,1	75,4	1,60
13	0	0	-	33,5	43,2	76,7	1,78
14	0	0	+	26,5	47,9	74,4	1,55
15	0	0	0	22,1	53,7	75,8	1,41

На основании экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты математических моделей открытой пористости по которым построены изоповерхности, представленных на рис.1 и рис.2.

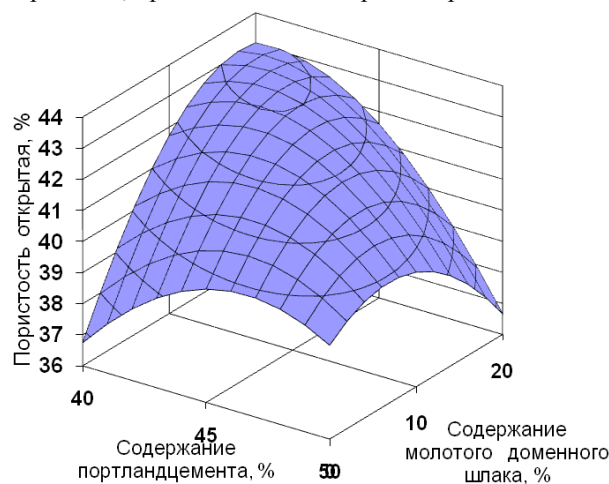


Рис.1. Изоповерхности открытой пористости газобетона

Плотность компонентов газобетона и технология его изготовления определяют общую пористость материала P_{общ}, характеризующую полный объём закрытых и открытых пор в единице объема материала:

$$P_{общ} = (1 - \rho_m / \rho) \cdot 100\%, \tag{1}$$

где ρ_m; ρ – средняя плотность сухого материала и его истинная плотность, кг/м³.

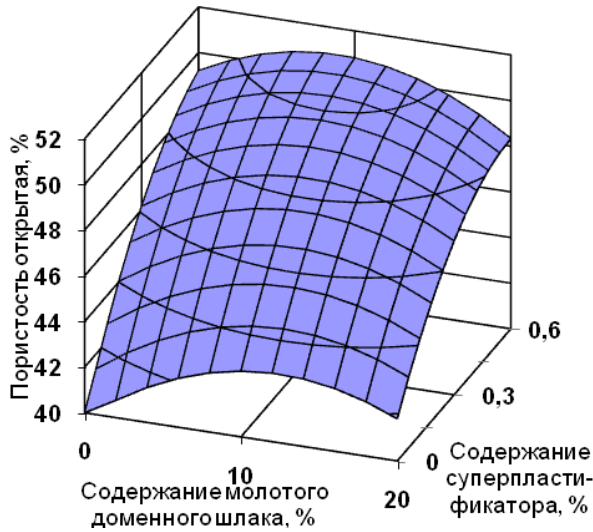


Рис.2. Изоповерхности открытой пористости газобетона

Открытая (кажущаяся) пористость ячеистого бетона характеризует объем открытых для диффузии водяного пара и массопереноса жидкой влаги пор в единице объема материала и выражается его объемным влагосодержанием при водонасыщении:

$$P_{откр} = [(m_n - m_c) / V] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_n , m_c – масса образца соответственно в насыщенном водой и в сухом состоянии; V – объем образца в естественном состоянии, $см^3$.

Интегральная пористость ячеистого бетона образуется за счет воды затворения (микропористость, реакция алюминиевой пасты и газообразователя, макропористость) и рассчитывается по формуле:

$$P = [(\rho - \rho_m) / \rho] \cdot 100\% + [(\rho_m + \rho_o) / \rho] \cdot 100\%, \quad (3)$$

где ρ – истинная плотность скелета материала, $г/см^3$; $\rho_{m\ p-ра}$ – средняя плотность раствора, $г/см^3$.

Разность между общей и открытой пористостями обуславливает закрытую пористость ячеистого бетона:

$$P_z = P_{общ} - P_{откр} \quad (4)$$

Критерий качества эффективного порового пространства ячеистого бетона:

$$K_n = P_{общ} / P_{откр} \quad (5)$$

Его увеличение свидетельствует об улучшении ряда эксплуатационных свойств материала, теплопроводности, морозостойкости, водостойкости и т.д. Для ячеистого бетона $K_n=1 \div 2$ [6].

График открытой и закрытой пористости ячеистого бетона на основе комплексного вяжущего с применением молотого доменного шлака представлен на рис.3.

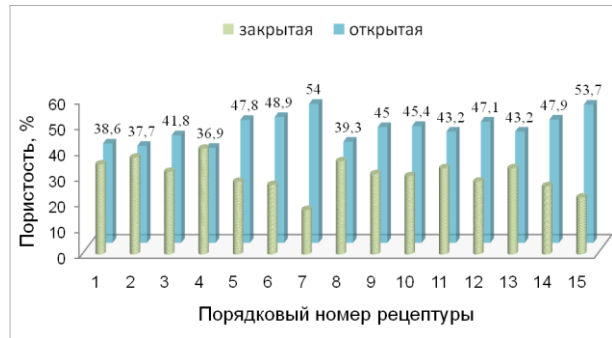


Рис.3 Пористость газобетона

Структура ячеистого бетона состоит из системы макропор, межпоровые перегородки которых образуют скелет материала, содержащий микропоры и микрокапилляры. В свою очередь структура материала зависит от количественного распределения пор и капилляров по размерам, однородности и показателям макропористой структуры.

Матрица, или структура межпорового вещества (микроструктура) газобетона, складывается из новообразований, «склеивающих» непрореагировавшие зерна вяжущего и молотого доменного шлака, а также капиллярной пористости. Для повышения прочности матрицы, особенно при пониженной средней плотности газобетона, необходимо максимально увеличить количество и прочность коагуляционных и кристаллизационных фазовых контактов между взаимодействующими частицами исходной смеси в процессе структурообразования и твердения газобетона [5].

Структурообразование порового пространства возможно, с одной стороны, за счет деформации пор, а с другой, среди пор большего диаметра должны располагаться поры меньших диаметров (так называемое «полидисперсное распределение пор по размерам» – *примечание автора*) см. фото 1.



Фото.1. Макроструктура поверхности образца с применением молотого доменного шлака

Макропоры в ячеистом бетоне имеют в сечении круглое или эллиптическое очертание неправильной формы, а различие их размеров характеризуется коэффициентом вариации:

$$c_v^d = \sigma_d / d_{cp}, \quad (6)$$

где σ_d – средние квадратические отклонения размеров макропор;

d_{cp} – средние диаметры макропор.

С увеличением диаметра пор и коэффициента вариации прочность ячеистого бетона снижается [7]. Поэтому желательно обеспечить такую макроструктуру ячеистого бетона, которая характеризовалась бы одинаковыми размерами макропор или двумодальным распределением пор по размерам, т.е. минимальными значениями коэффициента вариации.

Дифференцированная пористость ячеистого бетона выражается кривыми распределения пор по размерам [8]. Ее анализ, проведенный в других работах, показывает, что в ячеистом бетоне имеются ультрамикропоры размером $5 \cdot 10^{-9}$ м и трубки диаметром менее 1 мк.

Геометрия порового пространства газобетона весьма разнообразна, имеют место поры различного неправильного очертания с резко различающимися толщинами межпоровых перегородок. Поэтому модельное описание структуры ячеистого бетона не позволяет корректно обосновать зависимость ряда его физико-механических свойств от структурных характеристик материала.

Выводы

На основании рецептурно-технологических факторов, на данном этапе исследований, получены ряд составов с улучшенными эксплуатационными свойствами ячеистого бетона и дана оценка критерия качества их эффективного порового пространства.

С увеличением количества суперпластификатора марки СП-1 в рецептуре открытая пористость образцов возрастает. Критерий качества порового пространства, при содержании суперпластификатора в количестве 0,6% от массы цемента, составляет для состава №8 – 1,92.

Максимальная открытая пористость образцов соответствует количеству содержания молотого доменного шлака (удельная поверхность $1490 \text{ см}^2/\text{г}$) – 10% от массы сухих компонентов смеси (см. рис.2).

Полидисперсный состав измельченного шлака, с заданной удельной поверхностью, способствует уплотнению цементной матрицы газобетона (более плотной упаковки) и повышению её прочности.

Наполнитель совместно с цементом участвует в формировании микроструктуры матричной основы. Преимущества структуры цементной матрицы с наполнителем состоят в том, что в ней локализуются внутренние дефекты – микротрещины, макропоры и капиллярные поры, а также уменьшаются их размеры и количество, снижается концентрация напряжений.

Литература

1. Филатов А.Н. / Ячеистый бетон и вода // Строительные материалы и изделия. – 2013. №1. С.16-19
2. Меркин А.П. Выбор оптимальной гранулометрии сухих компонентов для производства высокопрочных ячеистых бетонов. Материалы 4-й конференции по ячеистым бетонам / А.П.Меркин, Н.Ф.Ерёмин, Г.М.Воробьёва. Пенза, 1969. С.139-143
3. Саница М. Влияние структуры поризованного бетона на его деформации и прочность. Строительные материалы / М.Саница, А.А. Лаукайти, А. Дудик. №11. 2002
4. Киселёв Д.А. Пенобетон для ограждающих конструкций с повышенной стабильностью параметров качества: Дисс. Канд. Техн. наук. 2005
5. Белов В.В. Сухие смеси для изготовления газобетона неавтоклавного твердения: Монография / В.В.Белов, Ю.Ю.Курятников. Тверь: ТГТУ, 2010. 100с.
6. Гаевой А.Ф., Качура Б.А. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. – Харьков, издательское объединение «Вища школа», 1978. 224с.
7. Меркин А.П., Филлин А.П., Земцов Д.Г. Формирование макроструктуры ячеистых бетонов. – Строительные материалы, 1963. №12. С. 29-31
8. Сахаров Г.П., Кониенко П.В. Образование оптимальной структуры ячеистого бетона. – Строительные материалы, 1973, №10. С. 39-42
9. Крилов Є.О., Мартинов В.І., Бойко Т.В. Водопотреба розчинової суміші на основі комплексного в'язучого з додатком меленого доменного шлаку для неавтоклавного газобетону. – вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Одеса, 2014, випуск 53. С.220-226

Рецензент: д-р техн. наук, проф., академік АБУ В.М. Вировой, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Автор: КРИЛОВ Євгеній Олександрович
Кафедра «Виробництво будівельних виробів і конструкцій»

Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, здобувач
E-mail: - krylove@ukr.net

QUALITY CRITERION OF EFFECTIVE PORE VOLUME OF NON-AUTOCRAVED AERATED CONCRETE HARDENING IN A MULTIPURPOSE BINDER TO USE GROUND BLAST FURNACE SLAG.

E.A. Krylov, D.V. Zelinsky, V.I. Martynov

Based on a multipurpose binder, using ground blast furnace slag, developed a series of compounds with improved performance characteristics of non-autoclaved aerated concrete. Adopted evaluation of the quality criterion of effective pore volume samples of constructive insulating aerated concrete density 500 kg/m^3 .

Keywords: pore volume, integral porosity, macrostructure, polydisperse structure, filler