УДК 666.973.6

ФОРМИРОВАНИЕ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА ПЛОТНОСТЬЮ 500 кг/м^3 НА КОМПЛЕКСНОМ ВЯЖУЩЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОМЕННОГО ШЛАКА

Крылов Е.А., *соискатель,* **Мартынов В.И.**, *к.т.н., доцент.,*
Виноградский В.М., *к.т.н., доцент*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

Вступление. Для широкого внедрения неавтоклавного газобетона в строительство исследователям необходимо решить ряд задач. Это повышение прочности при снижении их средней плотности, уменьшение затрат вяжущего для достижения заданной прочности, сокращение энергозатрат на подготовку сырьевых материалов и тепловую обработку, сокращение производственного цикла изготовления изделий, повышение однородности изделий по показателям прочности, плотности, влажности, трещиностойкости и пр.

Цель исследования. Повышение физико-механических свойств конструкционно-теплоизоляционного газобетона (марка D500) на основе комплексного активированного вяжущего с применением молотого доменного шлака.

Объект исследований. Растворная смесь и конструкционно-теплоизоляционный газобетон выдерживаемые в нормально-влажностных условиях в лабораторной камере (температура среды 20±1ºС; влажность не менее 90%).

Применяемые материалы и методы исследований.

Вяжущее гидравлическое – портландцемент ПЦІ-500 (без добавок) по ДСТУ БВ.2.7–46:2010 ПАО «Волынь–цемент» (г.Здолбунов); Нормальная густота цементного теста – 28,75%; Ранняя прочность при сжатии на 2 сутки – 32,6МПа; Начало схватывания цементного теста 110мин., конец 180мин.

Низкоактивное вяжущее –гранулированный доменный шлак (ГДШ) второго сорта, поставщик ПАО «Днепровский меткомбинат им. Ф.Э. Дзержинского» (г.Днепродзержинск) по ТУ У В.2.7–27.1–05393043–113:2010; Молотый до удельной поверхности 1490см^2/г по Р.Л. Блейна согласно ДСТУ БВ.2.7-188:2009; Истинная плотность порошка – 2940г/см^3; Химический состав: CaO–45,6%, SiO_2–38,8%; Коэффициент качества шлака – 1,45.

Дисперсный наполнитель – зола сухого удаления Ладыжинской ТЭС. Истинная плотность – 2320г/см^3. Удельная поверхность кислой активной минеральной добавки 2700см^2/г по Р.Л. Блейна согласно ДСТУ БВ.2.7-188:2009.

Таблица 1

Химический состав золы сухого удаления (золы-унос)

Содержание оксидов, масс.%	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_3 + FeO$	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	*п.п.п масс.*, %
количество, %	50,94	0,94	24,56	13,25	1,98	2,86	0,69	2,69	0,45	1,64

Выбор комплексного вяжущего для получения газобетона неавтоклавного твердения обусловлен специфическими особенностями его структурообразования. На начальной стадии формирования стойкой пористой структуры должно быть обеспечено синхронное протекание процессов газообразования и набора структурной прочности. Кроме этого, полученное вяжущее должно иметь максимальную марочную прочность.

Для выполнения первого условия необходимо, чтобы реакция газообразования проходила максимально эффективно, что обеспечивается определенной щелочностью среды и реологическими характеристиками растворной смеси. Основными факторами, влияющими на эти показатели являются:

– *газообразование* – щелочная и пластифицирующая добавка;

– *структурная прочность* – гипс полуводный и ускоритель твердения;

– *физико-механические характеристики* – зола-унос, пластифицирую-щая добавка;

– *реологические характеристики* – пластифицирующая добавка.

Для изучения влияния этих факторов был проведен эксперимент, результаты, которого приведены в таблице 2.

Комплексное вяжущее с пониженным водотвёрдым отношением и максимальной марочной прочностью, согласно текучести по вискозиметру Суттарда 240±5мм, соответствует рецептуре №8 растворной смеси.

Результаты испытаний образцов-призм, с фиксированной текучестью смеси, указывают на комплексное действие пластифицирующей и щелочной добавок, с максимальной прочностью при сжатии (растяжении при изгибе) и минимальным водотвёрдым отношением композиции. Данное комплексное вяжущее использовалось для дальнейших исследований при реализации трехфакторного эксперимента с применением математических методов

планирования эксперимента, согласно стандартного трёхуровневого плана Бокса-Бенкина типа В-3.

Таблица 2

Физико-механические характеристики образцов-призм 40х40х160мм на растворной смеси при обеспечении текучести смеси 240мм

№п/п	Рецептура	Водотвёрдое отношение (В/Т), %	Предел прочности 28 суток, МПа	
			растяжение при изгибе	при сжатии
1	Цемент+стандартный песок	60,6	5,81	42,2
2*	Цемент+зола-унос	100	4,60	28,8
8	Цемент+Зола-унос+ +Гипс+пластифицирующая добавка+щелочная добавка	71,6	7,59	48,6

* - *базовый состав растворной смеси*.

В ячеистом бетоне в качестве противоречивых компонентов рассматриваются твёрдая, жидкая и газовая фаза. Поиск наиболее благоприятных соотношений между этими компонентами на различных стадиях структурообразования могут рассматриваться как один из способов управления структурой и свойствами газобетона.

Для улучшения структуры бетона необходимо добиваться уменьшения количества седиментационных и капиллярных пор, уменьшать количество и неоднородность распределения вовлеченного воздуха, улучшать сцепление цементного камня с наполнителем, для чего желательно обеспечить наиболее полную гидратацию цемента и снижение В/Т отношения растворной смеси.

Структура межпорового вещества (микроструктура) газобетона, слагается из новообразований, «склеивающих» непрореагировавшие зерна вяжущего и молотого доменного шлака, а также капиллярной пористости. Для повышения прочности структуры необходимо максимально увеличить количество и прочность коагуляционных и кристаллизационных фазовых контактов между взаимодействующими частицами исходной смеси в процессе структурообразования и твердения газобетона [7].

Требования к золе-унос, как активной минеральной добавке обусловлены физико-химическим механизмом ее влияния на процессы твердения и структурообразования газобетона. Некоторые исследователи [2] положительный эффект влияния золы на структурообразование ячеистого бетона относят за счет «эффекта мелких порошков», расширяющих свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения вяжущего.

Существенной характеристикой золы является ее пуццолановая и гидравлическая активности. Низкокальциевой золе присуще незначительное проявление гидравлических свойств. Она также обладает пуццолановой активностью, т.е. способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения. Пуццолановая активность связана с химическим взаимодействием оксидов кремния и алюминия с гидроксидом кальция, который выделяется при гидролизе клинкерных минералов с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. При этом стекловидная фаза способствует гидратации золы, а кристаллическая является практически инертной. Благодаря этой особенности появляется возможность использовать ее в качестве минеральной добавки в бетонах для связывания $Ca(OH)_2$, образующегося при гидратации портландцемента [3].

Также прочность ячеистого бетона с добавкой золы зависит от толщины затронутого химическими процессами поверхностного слоя зольной частицы [4]. Пуццолановая реакция зависит от химического состава стекловидной фазы золы-уноса и, по-видимому, начинается на очень ранней стадии, когда поверхность частиц золы покрывается плёнкой гидроокиси кальция, образующейся при гидратации цемента. Однако между этой плёнкой и поверхностью частиц золы существует граничный слой в виде водного промежутка. Считается, что он проводит ионы кальция и что продукты пуццолановой реакции постепенно осаждаются в граничном слое. Поэтому пуццолановая реакция не даёт большого увеличения прочности до тех пор, пока граничный слой не заполнится в какой-то мере продуктами реакции. По мере того как граничный слой заполняется продуктами пуццолановой реакции, между частицами золы-уноса и продуктами гидратации цемента постепенно образуется прочная связь, что приводит к возрастанию прочности бетона [2].

Для достижения высокой прочности ячеистых бетонов на основе золы сухого удаления определенное значение имеет химико-минералогический состав клинкера. В раннем возрасте росту прочности газобетона способствует повышенное содержание в клинкере щелочей, ускоряющих химическое взаимодействие золы и цемента [2]. В более позднем возрасте для проявления пуццолановой реакции золы предпочтительны цементы с повышенным содержанием алита (C_3S), которые при гидролизе образуют значительное количество $Ca(OH)_2$.

Далее рассмотрим свойства ячеистого бетона плотностью 500кг/м^3, характеризующие долговечность материала:

Трещиностойкость. Уменьшение опасности трещинообразования бетонов при введении золы связывают со снижением тепловыделения. Однако, по критерию термической трещиностойкости определение

сравнительной трещиностойкости затруднено (особенно из-за необходимости учета влияния масштабного фактора при переходе от образца к конструкции). Для этой цели наиболее целесообразно использование другого критерия – отношения прочности на растяжение к прочности на сжатие ($R_р/R_{сж}$)·100 [5]. Увеличение этого отношения считается более благоприятным с позиции трещиностойкости и, как показано в ряде исследований [5] для литых золосодержащих бетонов с добавкой суперпластификатора, твердеющих в естественных условиях, величина отношения $R_р/R_{сж}$ изменяется от 15–18% в возрасте 3 суток и к 180 суткам достигает значений 6–7% характерных для большинства бетонов.

Уменьшение отношения $R_р/R_{сж}$ во времени отражает особенности процессов структурообразования цементного камня, состава бетона и условий его твердения [5,6].

Регулирование доли золы в рецептуре газобетона незначительно влияет на характер изменения во времени величины $R_р/R_{сж}$, а следовательно, и на характер процесса трещинообразования.

Основной причиной появления и развития трещин является возникновение в отдельных микрообъёмах материала деформаций растяжения, превышающих предельную растяжимость. В соответствии с этим повышению трещиностойкости способствуют все те факторы, которые позволяют уменьшить величину деформаций усадки материала и увеличить его предельную растяжимость, прямо пропорциональную пределу прочности при растяжении и обратно пропорциональную модулю упругости бетона.

Одним из направлений эффективных технологических приёмов повышения трещиностойкости ячеистобетонных изделий на стадии изготовления и эксплуатации является применение сырьевых композиций на основе грубомолотого доменного шлака удельной поверхностью до 1500 см^2/г, а также снижение величины влажностной усадки ячеистого бетона. При правильном гранулометрическом подборе сухих компонентов в вяжущей композиции, представляется возможным существенно улучшить свойства неавтоклавного газобетона [8].

Трещиностойкость изделий увеличивается при содержании пластифицирующей добав-ки 0,3% от массы цемента.

Пористость. Бетон с сообщающимися по-рами будет обладать большим капиллярным подсосом, чем бетон с порами замкнутыми, вследствие чего рас-пределение влаги и паров в изделии будет как бы саморегули-роваться, снизятся влажностные перепа-ды, высыхание будет более равномерным и менее длительным.

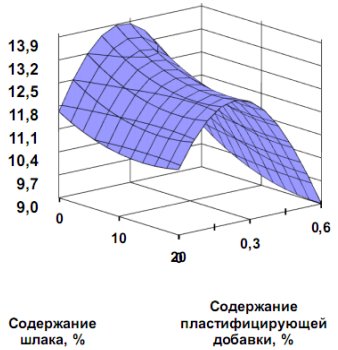

Рис.1. Изоповерхности коэффициента трещиностойкости газобетона

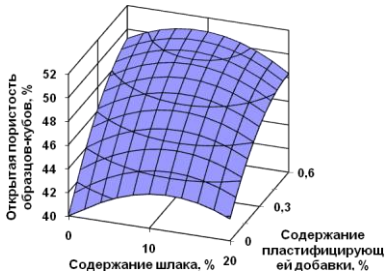

Рис.2. Изоповерхности открытой пористости образцов-кубов 100х100х100мм

В результате преобладания сообщающих-ся пор уменьшиться опасность появления усадочных трещин в изделиях и тем самым будет повышена их долговечность.

Результаты исследований показали, что открытая пористость образцов-кубов возрастает с увеличением содержания пластифицирующей добавки до 0,6% от массы цемента. При этом количество молотого шлака в композиции составляет 10% от массы вяжущего.

Морозостойкость. Морозостойкость ячеистого бетона зависит от ряда факторов, таких как В/Т отношения, плотности, соотношения в нём капиллярных пор, прочности межпорового материала и его вида и т.п.

Основной причиной разрушения ячеистой структуры бетона при циклическом замораживании и оттаивании считается фазовый переход воды из жидкого состояния в твёрдое, который сопровождается увеличением объёма образующегося льда и появлением растягивающих напряжений в межпоровом веществе. Разрушение бетона наступает, если возникшее напряжение превышает прочность межпорового вещества. Сопротивление газобетона разрушению объясняется наличием в его межпоровом материале условно-замкнутых (т.е. резервных пор), которые не заполняются влагой при контакте с влагой из воздуха и водой при погружении бетона в воду. В эти поры при замораживании ячеистого бетона поступает часть воды, отжимаемая давлением растущих кристалликов льда. Чем выше объём условно-замкнутых пор, тем выше морозостойкость. При неравномерном распределении резервных пор в межпоровых перегородках происходит локальное разрушение структуры бетона с образованием микротрещин. Морозостойкость бетона повышается с увеличением степени гидратации вяжущего и снижением водотвёрдого отношения растворной смеси. Морозостойкость бетона

можно повысить введением в сырьевую смесь микровоздухо-вовлекающих добавок, образующих в перегородках мелкие воздушные поры.

Выводы

На основе комплексного вяжущего, с применением доменного шлака удельной поверхностью до 1500см^2/г и обеспечением текучести растворной смеси 240мм, обеспечено синхронное протекание процессов газообразования и набор структурной прочности. Намечены пути управления структурой и свойствами конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного газобетона при расходе вяжущего 250кг/м^3.

Summary

On the basis of choosing a comprehensive binder, implemented a three-factor experiment to study the basic physical and mechanical properties of aerated concrete non-autoclave hardening. The methods of controlling the structure of the cellular material and the effect of fillers on the properties of the matrix

Литература

1. Мартынов В.И. Методика изучения и определения структурных параметров твердой составляющей ячеистых бетонов // В сб. „Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури”. – Одеса: „Місто майстрів”. вип. № 20. – 2005. С. 238-243.

2. Кокубу И.М., Ямада Д. Цементы с добавкой золы / Шестой международный конгресс по химии цемента – М.: Стройиздат, 1976 – Т.3 – С.83-94.

3. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов // А.В.Волженский [и др.] . - М.: Стройиздат, 1984. - 255с.

4. Дворкин Л.И., Пресман И.Г. Использование золы-унос ТЭС для приготовления бетонов и растворов при строительстве АЭС / Информэнерго – М.: 1987. - 52с.

5. Стольников В.В., Литвинова Р.Е. Трещиностойкость бетона. – М., Энергия, 1972. – 113с.

6. Невилль А.М. Свойства бетона. Пер. с англ. – М., Стройиздат, 1972. – 344с.

7. Белов В.В. Сухие смеси для изготовления газобетона неавто-клавного твердения: Монография /В.В.Белов, Ю.Ю.Курятников. Тверь: ТГТУ, 2010. 100с.

8. Мартынов В.И., Крылов Е.А., Зелинский Д.В. Выбор критерия и оценка трещиностойкости неавтоклавного ячеистого бетона на основе комплексного вяжущего с применением молотого доменного шлака // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкцій: материалы Всерос. науч.-техн. конф., редкол.: В.В. Петров [и др.]. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 74-80