

УДК 624

Ю.В. Ефименко, И.Н. Некипелов, С.К. Толстенко, С.Л. Чугунова

ЕФИМЕНКО Юрий Васильевич – кандидат технических наук, НЕКИПЕЛОВ Игорь Николаевич – кандидат технических наук, ТОЛСТЕНКО Светлана Константиновна, ЧУГУНОВА Светлана Леонидовна (Центр «Строительные материалы и технологии» ДальНИИС РААСН, Владивосток).

© Ефименко Ю.В., Некипелов И.Н., Толстенко С.К., Чугунова С.Л., 2012

Влияние золы на свойства бетона



Представлены результаты комплексных исследований пуццоланической реакции золы в бетоне с использованием кондуктометрического анализа и определения параметров пористости по водопоглощению, установлена взаимосвязь измеренных показателей бетона с расчетными «химическими» модулями качества золы по Воятзакису и Губбарду.

Ключевые слова: зола, бетон, пуццоланическая реакция, кондуктометрический анализ, гидравлическая проницаемость, модули качества.

Effect of ash on the properties of concrete. Yuri V. Efimenko – Ph. D., Igor N. Nekipelov – Ph.D., Svetlana K. Tolstenko, Svetlana L. Chugunova (Center «Building materials and technology» DalNIIS RAASN, Vladivostok). The results of complex investigations of the pozzolanic reaction of ash in the concrete with the use of the conductimetric analysis and determination of the void parameters on water absorption are presented; the relationship between the measured concrete characteristics and calculated “chemical” ash quality modules on Voyatzakis and Hubbard was derived.

Key words: ash, concrete, pozzolanic reaction, conductimetric analysis, hydraulic permeability, quality modules.

Применение золы в бетоне основано на использовании ряда ее физико-химических свойств, и прежде всего ее пуццоланической активности – способности взаимодействовать с гидроксидом кальция и щелочами в поровой жидкости бетона.

Принято считать, что цемент с золой является идеальным вяжущим для железобетонных изделий заводского изготовления с тепловой обработкой паром. Применение золы более эффективно для портландцементов с умеренной экзотермией. Считается, что ни содержание углерода, ни удельная поверхность и показатель активности по поглощению СаО не могут быть использованы для оценки эффективности золы. Известно также, что каждые 10% золы увеличивают капиллярную прочность бетона на 15%.

В ДальНИИС выполнены комплексные исследования различных свойств растворов и бетонов в процессе твердения при нормальной температуре и пропаривании по режиму, час: 3+3+4^{90°C} + медленное остывание. Образцы хранили в известковой воде. Применены золы ГРЭС и ТЭЦ Приморского края (Партизанская – П, Большекаменская – БК, Главвладивостокстроя – ГВС) и портландцемент ПЦ 400 Спасского завода (C₃S 57–60%, C₂S 14–18%, C₃A 9–10%, C₄AF 10–12%).

Изученные золы имели обычные для кислых зол составы:

– химический, % (SiO₂ = 53–62, Al₂O₃ = 22–24, Fe₂O₃ = 2,4–3,4, СаО = 0,4–2,0; Fe₂O₃ = 2,4–3,4; FeO = 0,3–2; R₂O = 2,2–3,9);

– минералогический (β-кварц, полевые шпаты, муллит, аморфизованная стеклофаза, полукоксовые остатки с температурой окисления при 500–580 °С)

и несколько различались по удельной поверхности (200–300 м²/кг) и удельному электросопротивлению (800–4000 Ом · см) водной вытяжки.

Пуццоланическую реакцию (ПР) устанавливали по соотношению $A_3 > A_0$, где A_3 и A_0 – соответственно, параметры для бетона (раствора) с золой и без золы (см. таблицу).

Кондуктометрические измерения показали, что присутствие золы в любом количестве изменяет электропроводность бетона (раствора) на всех этапах твердения. Пуццоланический эффект по прочности зафиксирован только в случае введения золы взамен части песка, в то время как по электропроводности этот эффект регистрируется при частичной замене как песка, так и цемента.

При нормальном хранении в течение первого месяца пуццоланическая реакция по электропроводности протекает медленно и в большей степени зависит от количества золы. Но к эксплуатационному возрасту (90 сут) действие золы на электропроводность бетона становится определяющим (см. таблицу).

**Влияние золы на свойства бетона в возрасте 90 сут
(состав в кг/м³: Ц = 210, В = 225, Ш = 1130, П = 650+зола)**

Свойства бетона	Режим твердения	Бетон				
		без золы		с золой (95кг/м³)		
		Ц=217кг/м³	Ц=270кг/м³	ГВС	П	БК
Прочность R, МПа	НХ	9,9	15,9	21	20,3	17,0
	ПАР	8,3	13,3	13,8	18,6	15,9
Удельное электросопротивление ρ , кОм•см	НХ	3,74	3,78	7,59	6,75	4,59
	ПАР	3,08	2,96	38,0	33,0	14,5
Сквозная пористость Пс, %	НХ	10,7	9,8	3,9	4,8	6,8
	ПАР	13,3	12,8	0,8	1,0	2,3
Константа пропитки $a \cdot 10^9$ см²•с⁻¹	НХ	11,4	10,7	13,6	7,8	11,0
	ПАР	12,8	7,0	10,0	7,2	9,3
Водопоглощение максимальное Wmax, % об.	НХ	17,6	16,9	15,6	16,4	17,2
	ПАР	17,6	17,4	17,0	15,4	16,6
Водопоглощение в течение 24 ч W_{24} / W_{max} , %	НХ	84	88	88	89	88
	ПАР	83	84	92	95	92
Параметр однородности пор (по Бруссеру) α , отн.ед.	НХ	0,67	0,63	0,62	0,60	0,64
	ПАР	0,91	0,82	0,65	0,63	0,65
Модуль Воятзакиса $M_v = [(CaO + MgO + R_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3)] \cdot 10^3$, отн. ед.	—	—	—	72	67	59
Модуль Губбарда $M_g = (K_2O / Al_2O_3) \cdot 10$, в молях	—	—	—	1,79	1,29	1,06
Цементирующая эффективность R/Сц, МПа	—	140	183	320	286	250
Начало пуццоланической реакции $\tau_{пр}$, сут	НХ			13	19	22

Примечание. Сц – объем цемента, отн. ед.; $\tau_{пр}$ – начало пуццоланической реакции, устанавливаемой по уравниванию относительного электросопротивления бетона с золой и без золы.

Пропаривание вызывает термоактивацию пуццоланической реакции золы, что приводит к резкому возрастанию удельного электросопротивления, прочности и снижению параметров проницаемости (ρ , Пс и т.д.) золосодержащих бетонов (растворов). При этом высокие значения относительной прочности (до 90...95% от R_{28}) и удельного электросопротивления бетонов с золой в возрасте 24 ч после пропаривания подтверждают вовлечение в процесс твердения дополнительных продуктов реакций золы с щелочами в форме $Ca(OH)_2$ и R_2O .

После прохождения пуццоланической реакции бетон с золой обладают улучшенными (в сравнении с контрольными составами) показателями по Rсж, Пс, Wmax, α (см. таблицу).

Зафиксированные нами значения параметров однородности пор $\alpha = 0,60-0,65$ при показателе среднего радиуса пор $\lambda_2 = 1,0-1,6$ соответствуют данным М.И. Брусера для зрелых (180 сут) цементных материалов с В/Ц = 0,6.

Подтверждена подчиненность прохождения пуццоланической реакции золы с щелочами цемента модулям активности этих алюмосиликатов по Воятзакису (M_v) и Губбарду (M_g).

Изменение прочности и показателей проницаемости исследованных бетонов согласуется со значениями модулей M_v и M_g и характеризует эти золы как пуццоланически активные.

Бетоны с добавкой золы имеют существенно более высокое удельное электросопротивление (в 5...10 раз выше контрольных) и низкую сквозную пористость, что можно рассматривать как фактор их повышенной коррозионной стойкости, в том числе в электрических полях.

