

К МЕХАНИЗМУ УПРОЧНЕНИЯ БЕТОНОВ С ДОБАВКОЙ СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЫ

Юхневский П.И., Юрик Ю.Ю.
БГПА, г. Минск

Проведенными исследованиями [1] и производственным опытом заводов ЖБИ Беларуси доказана эффективность применения в бетонах и растворах золы-уноса сухого отбора от сжигания прибалтийских сланцев. Большинство заводов (в г.г. Гродно, Минске, Бобруйске и др.) применяют электрофильтровую золу сухого отбора Прибалтийской и Эстонской ГРЭС, которая не требует предварительной подготовки и вводится в бетонные и растворные смеси для замены части цемента, что существенно изменяет их технические и экономические показатели.

Комплексный эффект от введения золы в бетоны и растворы обуславливают следующие основные факторы:

1. Использование вяжущих свойств золы и сокращение благодаря этому расхода цемента. Замена сланцевой золой 10÷30 % цемента в большинстве случаев не снижает, а активизированная зола существенно повышает прочность бетона после пропаривания. Одновременно смеси обладают большей подвижностью, т.е. прочность бетона сохраняется на уровне контрольного либо растет при неизменном В/(Ц+З) отношении.
2. Бетон на смешанном вяжущем характеризуется более высоким (на 15÷20 %) начальным модулем упругости и границами микротрещинообразования (в среднем на 10 %) по сравнению с обычным тяжелым бетоном сопоставимой прочности, на одну-две марки имеет более высокую водонепроницаемость и морозостойкость.
3. Указанные особенности бетона на смешанном вяжущем обеспечивают возможность гарантированно получать отпускную прочность бетона в изделиях после тепловой обработки, снижение трещинообразования у вертикально формируемых изделий из высокоподвижных бетонных смесей, улучшение качества бетонных и растворных смесей, повышение их перекачиваемости и удобоукладываемости.

По мнению ряда авторов [2], частицы золы выполняют в твердеющем цементном камне роль центров кристаллизации. Зольное стекло является в основном подложкой для гидратных новообразований цементного камня, которые относят к гидросиликатам группы C_2SH_2 . Кроме того в результате сульфатно-щелочной активизации к возрасту 180 суток отмечается взаимодействие зольного стекла с $CA(OH)_2$ с образованием второго слоя из кристаллов, по составу близкого к CSH . К возрасту 3 лет в системе резко падает содержание $CA(OH)_2$, а низкоосновные гидросиликаты кальция становятся преобладающими гидратными новообразованиями.

Отмеченные особенности в большей степени относятся к активизированной сланцевой золе путем обработки водно-зольной суспензии в диспергаторе, поскольку она содержит гидратированные алюминаты, гидроксид кальция и двуводный гипс. Последние,

являясь кристаллическими затравками, ускоряют гидратацию цементных минералов, что подтверждается ростом прочности пропаренного бетона по сравнению с контрольным при введении 10÷20 % гидратированной сланцевой золы.

Что касается пуццолановой активности стекловидной фазы золы, то необходимо заметить, что в раннем возрасте она не оказывает определяющего влияния, поскольку прочность бетонов на смешанном вяжущем интенсивно нарастает в более поздние сроки (28..180) суток.

Пластифицирующий эффект золы не оказывает решающего влияния на прочность бетона, так как она растет даже при постоянном В/(Ц+З) отношении и более подвижной смеси.

Замечено, что с увеличением расхода золы свыше 30..40 % в смешанном вяжущем прочность бетона по сравнению с контрольными образцами снижается. Вероятнее всего этот эффект необходимо связать с предельными деформациями оксидно-сульфо-алюминатного расширения материала, приводящими к его разуплотнению.

Нами изучен механизм формирования цементного камня в бетонах и растворах с различным содержанием золы в процессе естественного твердения. Деформации усадки-расширения исследовали на образцах-призмах 10×10×40 см по методике ГОСТ 25544-81 "Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести". В качестве контрольного приняли состав бетона, кг/м³: цемента – 270, песка – 890, щебня – 1044, воды – 150.200, в котором 20, 30 и 100 % цемента заменяли электрофильтовой сланцевой золой. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

На деформации расширения, развиваемые бетонами на цементно-зольном и зольном вяжущем наложились деформации усадки. Не смотря на это, бетон на зольном вяжущем (золобетон) в процессе твердения претерпевает только деформации расширения, которые никак не согласуются с его влагопотерями и затухают к 150 суткам, достигая максимальной величины 0.45 мм/м.

Интенсивный прирост деформаций расширения цементно-зольного вяжущего к 5.7 суткам твердения обусловлен гашением свободной СаО (оксидное расширение) и частично за счет кристаллизации этtringита (сульфоалюминатное расширение), ускоренное образование которого нами выявлено дифференциально-термическим методом. Оксидное расширение цементного камня обусловлено гидратацией оксидов кальция и магния, которая сопровождается образованием в формирующейся структуре большого числа мелких кристалликов Са(ОН)₂, причем они сосредоточены преимущественно на поверхности исходных зерен СаО. Такая локализованная кристаллизация Са(ОН)₂ вызывает увеличение объема, т.е. расширение всей структуры материала.

Кроме того, повышая пересыщение в жидкой фазе цементного камня в части СаО, известь ускоряет процесс взаимодействия гипса с алюминатной составляющей. В то же время снижается растворимость С₃А в результате чего зона кристаллизации этtringита приближается к поверхности частиц цемента. При этом на поверхности частиц алюми-

тов образуется все утолщающийся слой кристалликов этtringита, а частицы алюмината, постепенно перерождаясь в поликристаллический сросток, становятся источником деформаций структуры в целом. Основная часть гипса связывается в этtringит в более позднем возрасте, когда структура сформировалась и приводит к значительным деформациям расширения (второй пик прироста деформаций расширения к ста суткам твердения). Оксидное расширение за счет гидратации трудногидратируемой части $\text{CaO} + \text{MgO}$ обеспечивает незначительную часть прироста деформаций на этой стадии.

$\epsilon \times 10^{-4}$, мм/мм

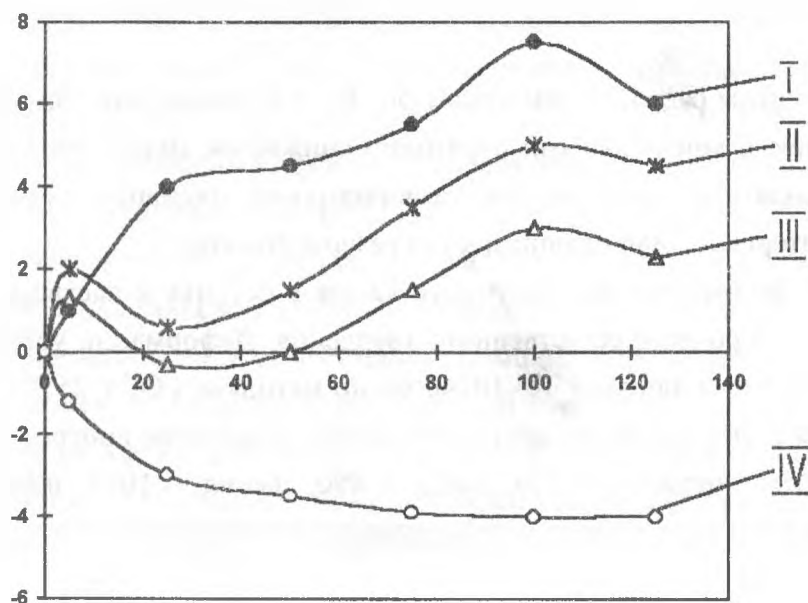


Рис. 1. I-IV – цементный бетон, содержащий золу взамен цемента соответственно 0, 20, 30 и 100 %.

В свою очередь, деформации расширения могут быть свободными и связанными, т. е. когда расширение цементного камня ограничено арматурой или кондуктором. Связанные деформации вызывают самоупругение в материале и повышение прочности. По данным [3] энергию самоупругения от 2 до 5 МПа можно получить при содержании в цементе 3÷4 % свободной CaO . Это хорошо согласуется с полученными нами результатами оптимального содержания CaO в пределах 2.6÷4.1 % в цементно-зольном вяжущем в зависимости от подвижности бетонной смеси и указывает на определяющее влияние CaO в формировании структуры бетона на смешанном вяжущем.

На основании результатов исследований и производственного опыта с помощью ПЭВМ по разработанной программе нами получены зависимости для расчета прочности бетона с добавкой золы:

$$R_6 = R_{ц} \left(\frac{0.27}{B/(Ц+3)} + 0.14 \right) - 1.51 \cdot X \quad \text{при } X \leq 3.5 \%;$$

$$R_6 = R_{II} \left(\frac{0.15}{B/(Ц+З)} - 0.1 \cdot X \right) + 36 \quad \text{при } X > 3.5 \%$$

где: R_{II} – активность цемента, МПа;

$B/(Ц+З)$ – водоцементно-зольное отношение, доли единицы;

X – содержание свободной извести в смешанном вяжущем, %.

Таким образом, деформации расширения, развиваемые в бетоне на смешанном вяжущем в результате оксидного или сульфоалюминатного расширения, противодействуют развитию усадочных деформаций и способствуют самоуплотнению цементного камня, усилению контакта камня с заполнителем и кристаллизационных контактов. При изготовлении преднапряженных железобетонных конструкций в этом случае меньше потери преднапряжения и выше трещиностойкость получаемых изделий.

При большом содержании золы (свыше 30 % в смешанном вяжущем) наблюдаемое снижение прочности бетона происходит, во-первых, вследствие снижения активности вяжущего при разбавлении золой и, во-вторых, вследствие преобладающего деструктивного воздействия значительных свободных деформаций расширения (более 0.5÷0.7 мм/м) на структуру бетона и появления трещин. Свободное расширение указывает на коррозию (разрушение) материала, в то время как связанное расширение характеризует напряжение, развиваемое в материале.

Литература

1. Юхневский П.И., Юрик Ю.Ю. и др. Бетоны и растворы с применением сланцевой золы ТЭС. Опыт Белоруссии – Обзорн. информ. БелНИИТИ – Мн.:– 1991 – 50 с.
2. Энтин Э.Б. и др. Гидратация и твердение зольных цементов/ Цемент – 1981. № 10 – с. 12–14.
3. Раадо Л.В., Лехисте Р.Л. Исследование возможности изготовления расширяющихся сланцезольных портландцементов. В кн.: Труды ТПИ, вып. 498. – 1980. – с. 33–43.