

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЗАТВЕРДЕВШЕГО БЕТОНА

Довгань И.В., Жудина В.И., Маковецкая Е.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

Определение первоначального состава затвердевшего бетона бывает необходимо для установления соответствия дозировки основных компонентов бетона технологическому регламенту на получение бетона с заданными свойствами. Обычно, такая необходимость возникает в случаях обнаружения недостаточной прочности бетона. Так, в нашу лабораторию неоднократно обращались строители-практики, которые пытались установить причину ранней потери прочности бетона. Чтобы установить причины разрушения бетонной конструкции, необходимо, прежде всего, установить соответствие состава бетона технологическому регламенту, а затем уже рассматривать воздействие на бетон различных факторов окружающей среды, т.е. условий эксплуатации конструкции. Нарушения состава бетона могут встречаться по различным причинам. Например, к нам обратились за разъяснением следующего факта: бордюрный камень определенного производителя всегда отличался достаточным качеством, но вдруг на небольшом участке дороги камень разрушился за несколько месяцев. Мы определили, что содержание песка в разрушенных образцах было почти в 2 раза выше нормы. Как оказалось, эта партия камня была получена производителем в то время, когда дозатор сырья вышел из строя, но обнаружили это не сразу, бордюрный камень был получен и отправлен заказчику.

Существуют методы испытания затвердевшего бетона, например стандарт EN 12390 «Испытание затвердевшего бетона». Указанный норматив устанавливает зависимость водопоглощения разных образцов бетона (проникновения воды в бетонный образец) от состава бетона. ГОСТ 7473-85 рекомендует определять состав затвердевшего бетона, используя плотномер с зондовым преобразователем. В данной работе рассматриваются химические методы исследования состава затвердевшего бетона на примере железобетонных плит тротуара, бетон В20, изложенные в документе «Рекомендации методов анализа затвердевшего бетона и раствора для определения их первоначального состава» [1]. Рекомендации содержат два метода анализа: метод с непосредственным определением химическим путем цемента в бетоне и метод с определением цемента по разности после ситового анализа бетонной смеси.

Для решения конкретной задачи определения состава затвердевшего бетона разрушающихся железобетонных плит тротуара, расположенного вблизи морского побережья мы применили оба названных метода исследования. Цель работы была не только как можно точнее ответить на поставленный вопрос о составе бетона, но и оценить и сравнить два предлагаемых в Рекомендациях метода анализа.

Надо сказать, что основным условием надежности анализа затвердевшего бетона является «представительность» отобранной для анализа пробы, то есть возможно близкое соответствие анализируемого образца фактическому среднему составу бетона. «Представительность» обеспечивалась отбором нескольких образцов весом 0,5-0,8 кг на разных участках тротуара, выложенного бетонными плитами. Образцы разрушили механически на куски 1,5-2 см в диаметре. Отбирали методом квартования 25% каждого образца, тщательно смешивали, снова квартованием отбирали 25% образца... Когда масса усредненного образца достигла примерно 600 г, образец высушили и отобрали 4 пробы для анализа (по две для каждого из методов). Масса исходных навесок, г: №1-107,19; №2-129,02; №3-94,85 и №4-111,5. Высушенные при 110°C и взвешенные пробы подвергали термическому разрушению. Для этого каждую из проб в чашках нагревали в муфеле до 300-400°C в течение 3-х часов и переносили горячие куски в стакан с холодной водой. Для более быстрого распада бетона на составные части, куски бетона постукивали и разминали деревянным пестиком. Все, что не растворилось в воде, отфильтровывали, высушивали и опять повторяли процедуру прокалывания, погружения в воду, легкого растирания. Повторяли это 3-4 раза. По окончании разложения бетон сушили и взвешивали.

Дальнейший анализ образцов проводили по двум методикам: пробы №1 и №2 по методу с прямым определением цемента, пробы №3 и №4 по методу определения цемента по разности, после отделения заполнителей. Кратко изложим суть методов.

I Метод с прямым определением цемента. Полученный после термического разложения сухой образец просеивали через сито с отверстиями 5 мм для отделения крупного заполнителя. Взвешивали крупный заполнитель и растворную часть бетона, прошедшую через сито (песок+цемент). Куски крупного заполнителя обрабатывали 2-3 раза холодной разведенной (1:10) HCl декантацией, затем 3 раза промывали водой, 1 раз 1% раствором NaOH (декантацией) и опять 2 раза водой. Куски крупного заполнителя сушили при 110°C и взвешивали. Осадок в промывных водах сушат, взвешивают и прибавляют при подсчетах к весу песка. Растворную часть бетона, прошедшую через сито 5 мм, измельчают до прохождения через сито 1 мм, квартованием отбирают небольшую 5-10 г порцию для дальнейшего анализа. Пробу растирают в агатовой ступке до прохождения через сито №008. Нерастворимый осадок определяли по методике ГОСТ 5392-91 [2], т.к. методика в ГОСТе изложена более детально, чем в Рекомендациях. Нерастворимый остаток представляет собой в основном песок. За цемент можно принять все растворимое растворной части. Пренебрегают растворимостью песка и нерастворимым остатком цемента, т.к. считают, что обе эти неточности взаимно

нейтрализуются. Результаты двух параллельных определений (проба №1 и проба №2) по этой методике I приведены в табл. 1.

II Метод анализа бетона с определением цемента по разности. Две пробы №3 и №4 обрабатывали раствором азотнокислого аммония в течение 24 часов, периодически через 5-8 часов сливая декантацией раствор через фильтр и заменяя его свежей порцией раствора NH_4NO_3 .

Таблица 1. - Результаты определения соотношения Ц:П:Щ по методикам Рекомендаций

| № опыта | Методика | Крупный заполнитель | | Песок | | Цемент | | Соотношение Ц:П:Щ | Соотношение цемент:заполнитель |
|-------------------------------|----------|---------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|--------------------------------|
| | | г | % | г | % | г | % | | |
| 1 | I | 60,56 | 56,50 | 28,71 | 26,78 | 18,05 | 16,80 | 1:1,59:3,36 | 1:4,95 |
| 2 | I | 73,98 | 57,34 | 32,40 | 25,11 | 22,64 | 17,50 | 1:1,43:3,27 | 1:4,70 |
| Среднее значение опытов 1 и 2 | | - | 56,92 | - | 25,95 | - | 17,15 | 1:1,51:3,32 | 1:4,80 |
| 3 | II | 52,93 | 55,80 | 29,93 | 31,67 | 11,99 | 12,64 | 1:2,51:4,41 | 1:6,92 |
| 4 | II | 60,14 | 53,94 | 36,27 | 32,53 | 15,09 | 13,53 | 1:2,40:3,99 | 1:6,39 |
| Среднее значение опытов 3 и 4 | | - | 54,87 | - | 32,1 | - | 13,09 | 1:2,45:4,19 | 1:6,64 |

По окончании разложения все нерастворившиеся части бетона промывали водой, сушили и взвешивали. Нерастворившаяся часть представляет собой крупный и мелкий заполнитель, эту часть подвергали ситовому анализу. Растворившаяся часть является цементом, его массу определяли по разности между массой исходной пробы и массой заполнителей. Результаты анализа проб №3 и №4 приведены в табл. 1.

Расхождение результатов анализов параллельных определений №1, №2, №3 и №4 незначительно и его можно объяснить сложностью усреднения проб образца. Но расхождение в исследованиях одного и того же бетона двумя различными методиками недопустимо большое. Поэтому мы провели уточняющие анализы, не предусмотренные Рекомендациями.

- Во-первых, определили содержание песка в опытах №3 и №4, проверив нерастворимый остаток по ГОСТ 5392-91 аналогично опытам №1 и №2. Нерастворимый остаток определяли в осадке на фильтрах, который получили при фильтровании цементосодержащего раствора. Масса этих осадков 2,7 и 1,89 г, а нерастворимый остаток 91 и 93,7%, соответственно, что составило 2,46 и 1,78 г песка. Нерастворимый остаток основной фракции песка 80,77 и 80,17%, т.к. массы песка в опытах №3 и №4 были 27,23 г и 34,38 г, то суммарно количество песка для опыта №3 $\text{мп3}=2,64 + 22,0=24,66$ г, для опыта №4 $\text{мп4}=1,78+27,57=29,35$ г. Если рассчитать количество цемента с учетом массы песка как «нерастворимого остатка», то соотношение Ц:П:Щ будет принципиально отличаться от полученного строго по методике II Рекомендаций и лучше коррелироваться с результатами в опытах №1 и №2 по методике I, в которых песок определяется как «нерастворимый остаток» (табл.2).

- Во-вторых, известно, что состав песка, который используют, как сырье при производстве строительных материалов колеблется в следующих пределах, %:

$\text{SiO}_2 - 83,3 - 99,0$ $\text{CaO} - 0,01 - 0,32$ $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,2 - 11,2$
 $\text{TiO}_2 - 0,01 - 0,29$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,05 - 0,52$

Рекомендуется содержание диоксида кремния определять по ГОСТ 5382-91. Определение проводят, обрабатывая исходный песок серной и фтористоводородной кислотами. Мы определили содержание диоксида кремния в песке, отделенном от крупного заполнителя в опытах №3 и №4. Оно составило 75,86 и 76,01% соответственно. Среднее содержание диоксида кремния (по данным литературы) в песке - 91%. Содержание песка в образцах №3 и №4, с учетом среднего содержания диоксида кремния в песке 91%, составило в опыте №3 - 24,95 г или 26,3%, в опыте №4 - 30,30 г или 27,17%. Эти значения близки к содержанию песка, определенному по нерастворимому остатку, и значительно отличаются от значений, полученных строго по методике II Рекомендаций, - 31,67% для опыта №3 и 32,53% для опыта №4.

Таблица 2. - Результаты определения соотношения Ц:П:Щ после уточнения массы песка по «нерастворимому остатку» в опытах №3 и №4

| № опыта | Методика | Крупный заполнитель | | Песок | | Цемент | | Соотношение Ц:П:Щ | Соотношение цемент:заполнитель |
|------------------------------------|----------|---------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|--------------------------------|
| | | г | % | г | % | г | % | | |
| 1 | I | 60,56 | 56,50 | 28,71 | 26,78 | 18,05 | 16,80 | 1:1,59:3,36 | 1:4,95 |
| 2 | I | 73,98 | 57,34 | 32,40 | 25,11 | 22,64 | 17,50 | 1:1,43:3,27 | 1:4,70 |
| Среднее значение опытов 1 и 2 | | - | 56,92 | - | 25,95 | - | 17,15 | 1:1,51:3,32 | 1:4,80 |
| 3 | II | 52,93 | 55,80 | 29,93 | 31,67 | 11,99 | 12,64 | 1:2,51:4,41 | 1:6,92 |
| 4 | II | 60,14 | 53,94 | 36,27 | 32,53 | 15,09 | 13,53 | 1:2,40:3,99 | 1:6,39 |
| Среднее значение опытов 3 и 4 | | - | 54,87 | - | 32,1 | - | 13,09 | 1:2,45:4,19 | 1:6,64 |
| Среднее значение по двум методикам | | - | 55,86 | - | 26,00 | - | 18,12 | 1:1,44:3,09 | 1:4,53 |
| По технологическому регламенту | | 1190 | 53,29 | 655 | 29,33 | 388 | 17,36 | 1:1,69:3,07 | 1:4,75 |

Следует учитывать, что мелкие кусочки гранита, образовавшиеся при механическом измельчении исходного образца могут влиять на содержание диоксида кремния, так как гранит содержит диоксид кремния от 68 до 78% (средний химический состав гранита, %: $\text{SiO}_2 - 70,18$; $\text{TiO}_2 - 0,39$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 14,47$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,57$; $\text{FeO} - 1,78$).

• В-третьих, масса пробы для анализа определяется после высушивания образца бетона при 110°C . Она состоит из массы крупного, мелкого заполнителя и гидратированного цемента. Масса гидратированного цемента значительно больше исходного цемента, так как на гидратацию расходуется большая часть воды затворения. Расчет соотношения цемент : песок : щебень не учитывает, что фактическое содержание негидратированного цемента значительно ниже определенного по Рекомендации.

В работе исследовали бетон, для которого известно соотношение сырья при загрузке по технологическому регламенту: 1190 кг крупного заполнителя, 655 кг песка и 388 кг цемента (табл.2). Расчет Ц:П:Щ показал, что если не учитывать гидратацию цемента, то содержание песка и щебня даже немного меньше необходимого по технологическому регламенту, что маловероятно по экономическим соображениям. При известном водоцементном соотношении, можно приблизительно оценить количество гидратационной воды в цементе. В табл. 2 приведен средний состав бетона, определенный по методике I Рекомендаций и по уточненной методике II в сравнении с технологическим регламентом на бетон В20.

Выводы

Таким образом, определение состава затвердевшего бетона является довольно сложной задачей, особенно при отсутствии образцов исходного сырья: цемента, песка и щебня.

В методику II Рекомендаций [1] необходимо внести уточнение при определении массы песка: определять либо нерастворимый остаток, либо содержание диоксида кремния.

Уточненная методика II позволяет получить удовлетворительную сходимость результатов определения по двум методикам Рекомендаций.

По методикам I и II Рекомендаций определяют массу гидратированного, а не исходного цемента, что необходимо учитывать при оценке результатов анализа бетона.

SUMMARY

In the paper is represented the chemical analysis of hardened concrete by two different methods. The refinements to conduct tests that would provide a satisfactory reproducibility are proposed.

1. Рекомендация методов анализа затвердевшего бетона и раствора для определения их первоначального состава. М.: Стройиздат, 1969. – 23 с.

2. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа.