

## **Применение молотого гранитного отсева в качестве минеральной добавки в бетон**

Якимович Г. Д.

Научный руководитель – Смоляков А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Гранитный отсев – результат дробления гранитной породы на заполнители для бетона на РУПП «Гранит». Экспериментальные исследования влияния добавки гранитного отсева на свойства бетона показали, что введение гранитного отсева в качестве заполнителя вызывает ухудшение основных характеристик бетона: прочности, морозостойкости, защитных свойств по отношению к арматуре. Однако, была выявлена целесообразность замены части цемента тонкомолотым ( $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) гранитным отсевом при испытании свойств цементного камня. Это вызвало необходимость выяснить влияние добавки молотого гранитного отсева на свойства бетона.

Для испытаний использовались пробы молотого гранитного отсева с  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  при дозировках 10%, 20% и 30% от массы цемента. Проводились испытания влияния на основные эксплуатационные характеристики: прочность, морозостойкость, водопоглощение, твердение в воде, коррозионная защита по отношению к арматуре.

**Влияние на прочность бетона.** Целью этих исследований было выявление оптимума и возможного допустимого количества вводимой минеральной добавки с позиций снижения прочности бетона.

Для проведения испытаний в качестве базовых были приняты основные составы бетона ОАО "Минскжелезобетон", которые внедряющей организацией не используются, но применяются в строительной отрасли Беларуси.

Методика проведения экспериментов включала приготовление бетонных смесей, определение осадки конуса, изготовление образцов-кубов с ребром 100 мм, твердение бетона в двух вариантах: при нормально-влажностных условиях и при пропаривании по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры до  $80...85^{\circ}\text{C}$

– 3 ч; изотермическая выдержка – 6 ч; остывание образцов в камере – 4 ч; остывание образцов после распалубки – 4 ч.

Нормальное твердение. Основным результатом этих экспериментов является подтверждение возможности введения до 20% молотого гранитного отсева в цемент без существенного снижения прочности бетона классов С12/15...С32/40.

Практически во всех случаях образцы бетона, приготовленного на цементе с содержанием добавки до 20%, обеспечили требуемую прочность, соответствующую заявленному классу.

Тепловлажностная обработка. Целью исследований являлось не только выявление закономерностей влияния вещества минеральной добавки на темп роста прочности бетона в условиях прогрева ( $t \sim 80...85^{\circ}\text{C}$ ), но и возможное ее влияние на изменение прочности бетона в дальнейшем.

По результатам эксперимента можно сделать вывод о возможности введения в цемент 20% добавки молотого гранитного отсева без снижения проектной прочности пропаренного бетона и без снижения прочности непосредственно после пропаривания, что важно для производства преднапряженных железобетонных изделий и конструкций.

Следует констатировать несколько более высокий уровень относительной прочности образцов пропаренного бетона из жестких бетонных смесей сразу после прогрева (75...82%), в сравнении с бетоном из пластичных смесей (72...79%). В то же время, пропаренный бетон незначительно, но "недобирает" прочности к проектному возрасту, в сопоставлении с данными для образцов нормально-влажностного твердения. Это известное в технологии бетона явление, и здесь нет зависимости, связанной с наличием или отсутствием в цементе минеральной добавки.

**Влияние на водопоглощение бетона.** Водопоглощение бетона, характеризующее наличие и объем открытой пористости бетона, одновременно дает информацию для прогноза его морозостойкости, т.к. последняя непосредственно зависит от количества «поглощаемой порами» бетона воды.

Водопоглощение бетона определили по стандартной методике ГОСТ 12730.3 с начальным насыщением образцов-кубов с ребром 100 мм; возраст – 28 сут. нормально-влажностного твердения.

Результаты испытаний свидетельствуют о следующем: с увеличением дозировки минеральной добавки в цементе от 10 до 20 % от массы вяжущего водопоглощение бетона возросло на 2,4% и 5 % соответственно. Повышение дозировки до 30 % от массы цемента сопровождается резким ростом водопоглощения бетона (12 %). Введение в бетон пластификатора I-ой группы, способствовавшего снижению водосодержания бетона и уменьшению объема капиллярной пористости, что обеспечило на исходном уровне величину водопоглощения бетона.

Таким образом, сочетание качественной добавки пластификатора и минеральной добавки из гранитного отсева позволяет получать бетон, состояние структуры которого соответствует бетону, приготовленному на бездобавочном портландцементе.

**Влияние на морозостойкость бетона.** Основным структурным фактором повышения способности бетона сопротивляться морозной деструкции является снижение капиллярной пористости.

Введение в бетон (цемент) минеральных добавок обычно влияет на морозостойкость следующим образом:

1. Инертные добавки, как и активные минеральные добавки естественного происхождения, снижают морозостойкость бетона при замещении части цемента в нем.

2. Добавки искусственного происхождения, например добавки шлака, также снижают морозостойкость бетонов. Вместе с тем, известно, что при дозировках шлаков до 10 ... 20 % от массы цемента в сочетании с введением в бетон пластификаторов можно получить материал достаточной для наружных ограждающих конструкций морозостойкости.

Морозостойкость бетона определили ускоренным методом по ГОСТ 10060: с насыщением, замораживанием (при  $t = -55 \dots -60^\circ\text{C}$ ) и оттаиванием в 5 % растворе NaCl ( $t \sim 18^\circ\text{C}$ ).

Изменения прочности образцов бетона в процессе испытаний. Из полученных данных следует, что бетон с минеральной добавкой 10 % от массы цемента выдержал до 300 циклов, 20 % – до 250-300 циклов и при 30 % – до 150 циклов. Очевидно, что увеличение доли минеральной добавки из молотого гранитного отсева в цементе способствует снижению морозостойкости бетона, в сравнении с приготовленным на бездобавочном портландцементе.

**Твердение в воде.** Дальнейшее испытание проводилось с целью установления пригодности использования цемента с добавкой гранитного отсева в строительстве подводных сооружений. Для этого бетонные образцы после распалубки помещались в воду, и их масса измерялась в течение 60 сут.

Анализ полученных данных показал, что изменение массы образцов в процессе твердения в неагрессивной среде соответствует изменениям прочности бетона всех исследованных составов при общей тенденции более интенсивного увеличения ее в первые 3-7 сут. твердения и последующего замедления темпов роста. Однако и к 60 сут. твердения бетон приращивал массу за счет «подсоса» воды. Это явление связано с развитием процесса гидратации цемента и отражает его кинетику во времени.

Анализ изменений прочности бетона образцов водного твердения, т.е. наиболее благоприятных условий для цементного бетона, показывает, что введение минеральной добавки в цемент, хранившийся 60 сут., взамен 10, 20 и 30 % клинкера снижает ее к проектному возрасту (28 сут.) на 7,5 %; 13,6 % и 34,5 % соответственно; для возраста 3 сут. снижение составляет 9 %; 24 % и 50 % соответственно. В случае использования свежемолотого цемента прочность бетона оказалась практически равной прочности образцов без минеральной добавки.

**Влияние на защитные свойства по отношению к арматуре.** Коррозия стали в бетоне строительных конструкций не допускается, поскольку ее развитие приводит к уменьшению площади сечения арматуры и вызывает появление трещин в бетоне, снижение жесткости и несущей способности конструкций, которые невозможно учесть и рассчитать.

Для надежной защиты арматуры в бетоне необходимо, чтобы щелочность среды бетона, оцениваемая водородным показателем pH, была не ниже 11,8; при меньших значениях pH возможна коррозия арматуры в бетоне. Понижение pH среды в бетоне наблюдается при уменьшении концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вследствие выщелачивания его проточной водой.

Исследования возможного коррозионного воздействия минеральной добавки на арматуру в бетоне по методике СТБ 1168 проводили при разовом насыщении бетона водой со снятием поляриза-

ционных кривых и при циклическом насыщении в 5% растворе NaCl и высушивании.

Физико-химическая сущность исследований в том, что под влиянием положительного потенциала, приложенного к арматуре, побуждается движение отрицательно заряженных ионов к арматуре. Чем больше свободных отрицательно заряженных ионов в жидкой фазе, тем сильнее ток и его плотность, и тем значительнее опасность коррозии арматуры в бетоне.

Методика изготовления образцов. Вода затворения – питьевая вода по ГОСТ 2874. В качестве арматуры использованы стержни  $d = 10$  мм из стали Ст 3 по ГОСТ 5781, которые были очищены, отшлифованы и обезжирены ацетоном и забетонированы по центральной оси образцов в соответствии с СТБ 1168. Образцы твердели 28 сут. в нормальных условиях.

Одноциклические испытания. В соответствии с положениями стандарта СТБ 1168 образцы насыщали питьевой водой до постоянной массы, а затем образец помещали в сосуд испытательной установки, заполненный водой.

Сущность электрохимических испытаний заключалась в получении данных для построения анодной поляризационной кривой. Для этого для каждого образца поочередно выявляли величину установившегося отрицательного потенциала стальной арматуры. Затем ее поляризовали от величины выявленного  $E_{уст.}$  (мВ), до потенциала +1000 мВ, в течение 60 мин и ступенчато (через каждые 100 мВ) регистрировали величину силы тока.

Методика циклических испытаний. При контроле коррозионного состояния стальной арматуры под действием внешней агрессивной среды путем циклических испытаний армированные образцы подвергают 20 циклам попеременного насыщения в 5 % растворе NaCl и высушивания, после чего проводят электрохимические испытания. На основании результатов испытаний строят соответствующие анодные поляризационные графики и анализируют полученные данные.

На основании одноциклических и циклических испытаний коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне на портландцементе с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева можно сделать вывод об отсутствии ее влияния на активизацию стали, т.е. вещество молотого гранитного отсева не вызывает коррозии

стали. Бетон с минеральной добавкой в количестве до 20 % от массы цемента обеспечивает сохранность стальной арматуры без признаков ее коррозии, как для обычного армирования, так и в случае преднапряжения арматуры. То есть, по условию сохранности арматуры в железобетоне цемент с добавкой молотого гранитного отсева может применяться без ограничений.

В результате испытаний доказана возможность использования молотого гранитного отсева в качестве минеральной добавки в цемент с замещением до 20% массы цемента без ухудшения основных эксплуатационных характеристик бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батяновский Э.И. Особоплотный бетон сухого формования. – Мн.: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.
2. Строительные материалы: Справочник / Ред. А.С. Болдырев, П.П. Золотов. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.
3. Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Строительные материалы и изделия: Учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 476 с.
4. ГОСТ 310.0-5. Цементы. Методы испытаний.
5. ГОСТ 30459. Добавки для бетонов. Метод определения эффективности.
6. ГОСТ 10180. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
7. СТБ 1545. Смеси бетонные. Методы испытаний.
8. ГОСТ 18105. Бетоны. Правила контроля прочности.
9. СТБ 1168. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона.