

Высокопрочный бетон

Якимович Г.Д.

Научный руководитель – Бортницкая М.Г.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

За последние 20 лет в Беларуси и во многих странах мира появилось новое поколение бетонов, высокопрочные бетоны. Прочность этих бетонов равна или выше активности исходного цемента. Эти бетоны отличаются высокой прочностью на растяжение при изгибе и при сжатии, морозостойкостью, трещиностойкостью, ранним набором прочности.

К высокопрочным бетонам можно отнести и высококачественные бетоны имеющие прочность на сжатие в возрасте 2 сут 30-50 МПа, 28 сут - 60-150 МПа, морозостойкость - F600 и более, водопоглощение - менее 1-2%. В настоящее время к высокопрочным относят обычно бетоны с прочностью при сжатии в 28-суточном возрасте 70-150 МПа..

Получение высокопрочных бетонов возможно при использовании стандартных материалов, выпускаемых отечественной промышленностью. Заполнители для высокопрочного бетона должны быть чистыми и обладать хорошим зерновым, Предел прочности крупного заполнителя должен быть на 20 % выше заданной прочности бетона.

Чем выше прочность бетона, тем ниже его пластические свойства – как при кратковременном, так и при длительном нагружении, т.е. такой бетон более хрупок. Испытания опытных призм показывают, что разрушается он практически внезапно, без предварительного образования продольных трещин, свойственных бетонам низкой и средней прочности.

Также получение высокопрочных бетонов возможно при использовании **вяжущих низкой водопотребности (ВНВ)**. Такие бетоны характеризуются высокой морозостойкостью и трещиностойкостью; водопоглощение их ниже, чем у обычных бетонов в 2,0-2,5 раза, а деформация усадки и ползучести - на 10-20%. Водопотребность бетонных смесей на основе ВНВ на 35-50% ниже.

Кинетика твердения бетонов на основе ВНВ существенно отличается от характера нарастания прочности бетона из изопластических смесей с суперпластификатором С-3, изготовленных по традиционной технологии. В возрасте 16 ч нормального твердения бетоны на основе ВНВ(82,4 МПа) имеют кубиковую прочность 25 МПа, в возрасте 1 суток - 60 МПа. Абсолютные значения прочности цементного камня на ВНВ в возрасте 28 и 180 суток составили соответственно 184 и 205 МПа, а контрольных образцов – 81,7 и 98,5 МПа.

Оптимальным условием твердения бетонов на основе ВНВ-100 является естественный режим хранения. Для бетонов на основе ВНВ-50, кроме естественного хранения, обеспечивающего отпускную прочность порядка 15-20 МПа в возрасте 1 суток, может быть применена тепловлажностная обработка при температуре изотермической выдержки +60°C. Для бетонов на основе ВНВ-30 при заводском изготовлении обязательна термообработка по существующим режимам.

В цементном камне на основе вяжущих низкой водопотребности эффективный радиус пор (80 процентов) сдвигается в сторону более мелких пор размером 0,01 мкм, в которых вода замерзает при температуре -20...-40°C, что позволяет бетону твердеть на морозе.

С уменьшением В/Ц повышается вязкость цементного теста, ухудшаются условия приготовления и уплотнения бетонной смеси, увеличивается воздухововлечение. В результате снижается эффективность использования цемента. Поэтому применение более низких В/Ц, требует использования специальных приемов, позволяющих плотно укладывать бетонные смеси.

Микрокремнезём (МК) создаётся путём использования ультрадисперсных отходов производства ферросплавов и кристаллического кремния. Эти отходы представляют собой конденсированные аэрозоли. Высокая эффективность выделяет их в ряду других активных минеральных добавок для бетонов.

По мнению многих авторов, улучшение удобоукладываемости, достигнутое в бетонах с низким В/Ц, объясняется тем фактом, что при введении определенного количества суперпластификатора легкие частицы МК могут заменять некоторое количество воды между флокулированными цементными зёрнами. Некоторые исследователи заостряли внимание на выдающихся пуццолановых свойствах МК. По их мнению, МК может считаться даже суперпуццоланом, гораздо более эффективным и быстродействующим, чем другие виды пуццоланов.

Также опыты показали, что введение в состав цемента тонкодисперсного микрокремнезема существенно замедляет поглощение сульфат-ионов цементным раствором. Цементно-песчаные образцы через 5 мес. испытания в растворе Na₂SO₄ с концентрацией по иону SO₄²⁻ 10000 мг/л были полностью разрушены, в то время как образцы с добавкой 10 % микрокремнезема к этому сроку не имели признаков повреждения.

Кинетика твердения бетонов с МК в нормальных условиях характеризуется интенсивным нарастанием прочности в интервале от 7 до 20 сут. При оптимальной дозировке суперпластификатора (СП) прочность бетона на сжатие в 28-суточном возрасте достигает 95...100 МПа при расходе вяжущего 400 кг/м³ и содержания в нем 10...15% микрокремнезема (подвижность бетонной смеси 2...4 см). При увеличении расхода вяжущего с

400 кг/м³ до 600 кг/м³ за счет снижения В/В до 0,19 в бетонах с оптимальным расходом МК (15%) и дозировкой СП удалось повысить их прочность до 135 МПа. Введение в бетоны на основе портландцемента, микрокремнезема (МК) и суперпластификатора (СП) тонкомолотых минеральных добавок (до 15%) обеспечивало прочность на сжатие в 28-суточном возрасте 145 МПа при использовании тонкомолотой золы и 137 МПа при использовании тонкомолотого шлака. При увеличении содержания тонкомолотых добавок свыше 15% отмечалось снижение прочностных характеристик бетона.

Характер деформаций высокопрочных бетонов с использованием микрокремнезема практически не отличается от деформаций обычных бетонов. В обоих составах бетон раннего возраста несколько увеличивает темпы роста продольных и особенно поперечных деформаций к началу периода предразрушения, что соответствует поведению рядовых бетонов.

Однако введение в бетонную смесь супер- и гиперпластификаторов и реакционноактивных пуццолановых добавок — условие необходимое, но недостаточное для создания высокопрочного (ВПБ) и особо высокопрочного бетона (ОВПБ) с прочностью 150–200 МПа. При введении МК в количестве 15–20% от массы портландцемента можно из самоуплотняющихся бетонных смесей достигнуть прочности бетона 80–100 МПа. Такое значение прочности является предельным для традиционных составов бетона.

Введение суперпластификатора С-3, в количестве 0,4-0,7% сухого вещества от массы цемента повышает как раннюю суточную прочность высокопрочного бетона, так и нормативную в возрасте 28 сут. Для умеренно подвижных смесей это превышение на первые сутки составляет около 50%. А при добавлении каменной муки — в 2-2,5 раза.

При расчете состава бетона по методу абсолютных объемов достижение рациональной реологии обеспечивается увеличением прослойки цементного теста между частицами песка и прослойки цементно-песчаного раствора между зернами щебня

Структура высокопрочных и особо высокопрочных бетонов должна принципиально отличаться от структуры бетонов общего назначения прочностью 30–60 МПа, имеющих компактную упаковку зерен песка в цементном тесте и зерен щебня в цементно-песчаном растворе. Для достижения высокой прочности бетона на вяжущем низкой водопотребности (ВНВ) необходимо также использовать добавку каменной муки для создания рациональной топологической структуры бетона, а не только обеспечить высокий разжижающий эффект СП в ВНВ. Для бетонов высокой прочности более эффективны ВНВ активностью 60–70 МПа, содержание которых в бетоне должно быть 900–1000 кг на 1 м³ бетона.

При твердении в условиях ТВО на прочность бетона существенно влияет температурный режим: с повышением температуры изотермического прогрева прочность возрастает и сразу после тепловлажностной обработки может достигать 90% марочной, что объясняется повышением реакционной способности двуокиси кремния с увеличением температуры щелочной среды.

Для получения пропаренных изделий с более высокой прочностью (200–250 МПа) долю МК можно увеличить до 30 % и использовать кварцевую муку. В этом случае могут быть использованы жесткие режимы тепловой обработки (до 90–95 С) с большой продолжительностью изотермии (до 24–36 ч).

Стабильность и деформативность затвердевшего бетона зависит от его водонасыщения, разности температур и численности циклов замораживания и оттаивания. С повышением водонасыщения сверх максимальной величины замерзающая в порах вода кристаллизуется, что может приводить к росту внутренних напряжений и, как следствие, к нарушению структуры и снижению морозостойкости бетона.

Высокопрочные бетоны, изготовленные по оптимальной технологии, имеют более равномерную структуру, минимальную пористость и вследствие этого пониженную водопроницаемость, а также повышенную морозостойкость.

Кардинальное повышение прочности бетонов с суперпластификаторами достигается рационально подобранным составом и многокомпонентностью бетона, а также за счет рациональной реологии.

Высокая прочность на осевое сжатие ВПБ и ОВПБ (а вместе с ней и высокая хрупкость и непропорционально низкая прочность на осевое растяжение) открывает широкие возможности для дисперсного армирования таких бетонов короткой и тонкой высокопрочной арматурой при низких объемных степенях армирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников, В.И. Основные принципы создания высокопрочных и особо высокопрочных бетонов / В.И. Калашников // Популярное бетоноведение. – 2008. – № 88.

2. Калашников, В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов – 1. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения / В.И. Калашников // Технологии бетонов. – 2007. – № 5. – С. 8–10.

3. Дворкин, Л.И. Дворкин О.Л. Основы бетоноведения.

4. Берг, О.Я. Щербаков, Е.Н. Писанко, Г.Н. Высокопрочный бетон.

5. Микрокремнезём. Подробное описание. Материал интернет: http://tpkimpet.ru/d/54949/d/mikrokremnezem_podrobnoe_opisanie.doc