

УДК 666.974

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СУХОГО ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Драпалук М.В.

THE IMPACT OF TECHNOLOGY FEATURES DRY MOLDING CONCRETE PRODUCTS TRANSPORT FACILITIES ON THEIR PERFORMANCE PROPERTIES

Drapaluk M.

В статье проанализирована связь структуры и прочности бетона, в результате определены пути оптимизации структуры бетона транспортных сооружений с целью повышения трещиностойкости и долговечности. Установлена возможность повышения прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения жесткости плотных заполнителей. Изложены основные особенности технологии сухого формования железобетонных изделий для транспортных сооружений.

Ключевые слова: бетон, сухое формование, прочность, цементная матрица, демпфирующие компоненты, кристаллогидратный росток.

Постановка проблемы. Важнейшей задачей эксплуатации транспортных сооружений является обеспечение бесперебойного и безопасного движения транспортных средств с установленными скоростями, обеспечение пропуски по ним различных транспортных средств. А бетон для транспортных сооружений является наиболее распространённым и сложным из всех искусственных материалов применяемых при строительстве, поэтому возникает особый, повышенный интерес к его требованиям.

Огромный рынок материалов, которые применяются для производства железобетонных конструкции усложняет их выбор, для соответствия необходимому комплексу свойств. В связи с возникновением экономичных путей оптимизации свойств бетонов такие задания не могут быть решены в полном объеме за счет синтеза новых видов модификаторов, так как это связано со значительными затратами.

Анализ последних исследований и публикаций. Влияние структуры бетона на его поведение под действием динамических нагрузок Ю.А. Нилендер, Л.И. Мильштейн, В.А. Невский, Ю.А. Пискунов и др. изучали на различных реологических моделях, согласно которым упругие свойства бетона характеризуются динамическим модулем упругости, неупругие - коэффициентом внутреннего трения [1]. Анализируя поведение модели бетона, авторы счи-

тали основной причиной разрушения бетона при ударе разрыв по растворной части и подчеркивали прямую зависимость ударной прочности бетона от свойств крупного заполнителя, и, в первую очередь, от его поглощающей способности. Одновременное увеличение коэффициента внутреннего трения раствора должно еще больше повысить сопротивление бетона ударным нагрузкам.

Суммируя известные результаты исследований связи структуры и прочности бетона, можно определить следующие пути оптимизации его структуры с целью повышения трещиностойкости, ударной стойкости и долговечности.

1. Снижение жесткости заполнителей бетона за счет использования плотных заполнителей средней жесткости (типа известнякового щебня) и легких заполнителей (шлаковой пемзы, керамзита). Однако указанные бетоны могут иметь пониженную по сравнению с тяжелыми бетонами на плотных и прочных заполнителях прочность при сжатии.

2. Снижение концентрации плотных заполнителей за счет раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором и мелкого – цементным камнем.

3. Повышение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения чистоты и шероховатости поверхности плотных заполнителей, а также применения пористых заполнителей.

4. Использование бетонов на смешанных крупных и мелких заполнителях, а также комбинированных бетонов, в качестве вяжущих в которых используются портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, пуццолановый и другие виды смешанных цементов.

Наиболее оптимально последнее предложение, являющееся фактически комбинацией первых трех приемов. Его реализация позволяет одновременно устранить отмеченные недостатки и максимально снизить дефектность бетона.

Формирование цели исследования. Целью исследований является повышение долговечности бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений за счет модифицирования состава бетонной смеси для обеспечения полифункциональности процесса структурообразования бетона.

Состав и технология приготовления бетонных смесей определяют прочность и долговечность железобетонных конструкций, поэтому повышение эффективности производства конструкций предусматривает оптимизацию всей совокупности «состав – технология – структура – свойства». Бетон в силу неоднородности цементного камня, качества и распределения заполнителей имеет неупорядоченную структуру.

Одним из путей оптимизации структуры бетона является разработка модифицированных бетонов сухого формования с демпфирующими компонентами. Актуальность проведенных исследований заключается в разработке технологии бетона сухого формования с демпфирующими компонентами для транспортных сооружений.

Изложение основного материала исследования. Особенностью способа сухого бетонирования заключается в том, что смесь вяжущего и заполнителей сначала укладывают в форму, уплотняют и подвергают тепловлажностной обработке, предварительно зафиксировав объем отформованного изделия. Такая технология устраняет зависимость удобоукладываемости бетонной смеси от водопотребности песка и сроков схватывания цемента. Применение способа сухого формования железобетонных изделий с демпфирующими компонентами позволит повысить эксплуатационные характеристики бетона конструкций.

Цементная матрица - носитель прочности бетона - содержит поры различных размеров, которые существенно снижают прочностные свойства бетона [2].

Значительное различие цементной матрицы и заполнителей бетона по прочностным и упругим характеристикам определяется тем обстоятельством, что плотные заполнители тяжелого бетона, в т.ч. кварцевый песок, не обладают идеальной совместимостью с традиционной цементной матрицей, имеющей модуль упругости $(8...20) \cdot 10^3$ МПа, в силу своей высокой жесткости (модуль упругости до 10^5 МПа), приводящей к значительным усадочным напряжениям при твердении [3].

Отличительными признаками демпфирующих добавок являются их пониженные жесткостные характеристики, определяемые высокой пористостью материала. Введение в бетон таких добавок, снижающих концентрацию напряжений на границе раздела фаз с различными упругими характеристиками, существенно уменьшает размах колебаний и пределы изменений максимальной и минимальной деформации и напряжений в процессе разрушения бетона.

Исследование процессов твердения бетона сухого формования с демпфирующими компонентами осуществляется по определению прочности, деформативных характеристик и поровой структуры [3].

Механизм действия демпфирующих добавок состоит в том, что на пути растущей трещины возникает энергетический гаситель в виде микровключения. Такое включение не способно отдавать полученную энергию, затраченную на его деформирование. Тем самым уменьшается энергия роста трещины и релаксируют напряжения в ее вершине. Наличие в структуре бетона упруго-вязких включений - низко модульных добавок демпфирующего действия как релаксаторов внутренних напряжений и энергетических гасителей трещин - обеспечивает повышение прочности, трещиностойкости и морозостойкости бетона.

Подытожить сказанное можно словами А.А. Гвоздева [4], который отметил, что «неоднородность бетона, порождая возникновение микротрещин, задерживает их перерождение в опасные макротрещины, а наличие концентраторов напряжений в самой структуре материала делает его малочувствительным как к внешним концентраторам, так и ко вновь возникшим внутренним».

Суммируя известные результаты исследований связи структуры и прочности бетона, можно определить следующие пути оптимизации его структуры с целью повышения трещиностойкости, ударной стойкости и долговечности.

1. Снижение жесткости заполнителей бетона за счет использования плотных заполнителей средней жесткости (типа известнякового щебня) и легких заполнителей (шлаковой пемзы, керамзита). Однако указанные бетоны могут иметь пониженную по сравнению с тяжелыми бетонами на плотных и прочных заполнителях прочность при сжатии.

2. Снижение концентрации плотных заполнителей за счет раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором и мелкого - цементным камнем.

3. Повышение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения чистоты и шероховатости поверхности плотных заполнителей, а также применения пористых заполнителей.

4. Использование бетонов на смешанных крупных и мелких заполнителях, а также комбинированных бетонов, в качестве вяжущих в которых используются портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, пуццолановый и другие виды смешанных цемента.

В настоящее время известны исследования и опыт использования в бетонных смесях минеральных и органических маложестких поризованных компонентов (добавок) различной дисперсности: от дисперсности вяжущего до размеров мелкого и крупного заполнителей. Это портландцемент с минеральными добавками и пуццолановый портландцемент, растворы и бетоны на смешанных и комбинированных заполнителях. Перечисленные материалы отличаются экономией клинкерной части (при использовании тонкодисперсных минеральных добавок), пониженной плотностью бетона при использовании смешанных заполнителей), повышенной трещиностойкостью, морозостойкостью, в ряде случаев - прочностью при растяжении. Обобщая результаты ис-

ледований, проведенных до настоящего времени в этой области, целесообразно дифференцировать такие компоненты в зависимости от их дисперсности. В соответствии с этим можно выделить тонкодисперсные компоненты (добавки) с удельной поверхностью 50...300 м²/кг; компоненты с размерами мелкого заполнителя - песка; компоненты с размерами крупного заполнителя.

К тонкодисперсным компонентам с удельной поверхностью 50...300 м²/кг относятся инертные и активные минеральные наполнители, снижающие стоимость цемента без существенного ухудшения его характеристик. Условность такого деления обусловлена тем, что до сих пор нет единого мнения о степени гидравлической активности тех или иных тонкодисперсных минеральных добавок [3-4]. Несмотря на это, можно констатировать факты увеличения плотности бетона, уменьшения деформаций усадки и набухания, повышения водостойкости и антикоррозионных свойств бетона с тонкомолотыми минеральными добавками.

Минеральные добавки являются составной частью композиционных цементов, шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента и некоторых других видов специальных цементов. Характеризуя пуццолановые цементы, С.М. Рояк и Г.С. Рояк подчеркивают, что они отличаются от портландцемента способностью к пластическим деформациям во влажных условиях, вследствие чего бетоны на пуццолановых цементах отличаются высокой трещиностойкостью [6].

Как известно, пуццолановые портландцементы отличаются от портландцемента замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения. При длительном твердении бетона содержание пуццоланы благоприятно сказывается на структуре цементной матрицы бетона и приводит к тому, что прочность бетона на пуццолановых цементах приближается к прочности бетона на портландцементе такой же марки, а иногда может быть и выше.

Следует отметить, что активность портландцемента с инертными и активными минеральными добавками снижается не пропорционально количеству добавки. Так, при введении 50% микронаполнителя активность цемента снижается на 20...40%, поэтому в ряде случаев применение микронаполнителей оказывается экономически выгодным за счет повышения эффективности использования портландцементного клинкера.

Сущность способа сухого формования заключается в том, что сухую бетонную смесь уплотняют в форме или опалубке и после этого насыщают водой. Расход компонентов рассчитывают таким образом, чтобы обеспечить минимальную пустотность и снизить количество воды при насыщении смеси.

Так как сухие смеси обладают при вибрации высокой удобоукладываемостью, то возможно применять весьма однородные мелкозернистые смеси, характеризующиеся оптимальной с точки зрения физико-химической механики и теории твердого тела структурной. При правильно подобранном гранулометрическом составе заполнителей возможно полу-

чение бетонов весьма высокой плотности, прочности и морозостойкости.

При сухом формовании взаимодействие цемента с водой начинается после формования смеси, т.е. в изделии, то сроки схватывания цемента не имеют значения и можно применять сверхбыстротвердеющие вяжущие или особо эффективные ускорители схватывания.

Исследования показали, что скорость пропитки зависит не только от плотности упаковки, но и от дисперсности твердых компонентов, а также от вязкости жидкости. Это позволило предложить осуществлять пропитку горячей водой или паром. Установлено также, что в процессе пропитки в бетоне образуется и сохраняется направленная пористость, а поэтому предложено после водонасыщения повторно вибрировать свежесформованное изделие.

Основной технологической операцией способа сухого формования является водонасыщение уплотненной смеси. Наиболее простой способ водонасыщения основан на использовании эффекта капиллярного подсоса и заключается в том, что форму с сухой смесью помещают в ванну с водой (пропитка снизу) или на поверхность смеси, укрытой каким-либо фильтром, наливают слой воды (пропитка сверху). Однако продолжительность водонасыщения этим способом смеси слоем от 10 до 30 см составила 90 и 300 мин соответственно. Этот способ характеризуется повышенными затратами времени может и быть рекомендован только для стендовой технологии.

Установлено, что при сухом формовании традиционный способ смазки форм водоземлюльсионными составами не всегда приемлем. При укладке сухой смеси в смазанную форму слой смазки частично переходит с формы в смесь, образуя пятна на готовом изделии. С целью комплексного решения проблемы подбирали такой материал для форм, который бы имел нулевую адгезию к бетону и не нуждался в смазке.

Опытами установлено, что оптимальным материалом для форм является полиэтилен. Образцы с прокладкой из него самопроизвольно разделялись при выемке из форм, поэтому подготовка опалубки к сухому формованию заключалась в оклейке формы полиэтиленовой пленкой. Использовали пленку толщиной 0,3 мм и гидроизоляционную эмаль, представляющую собой раствор хлорсульфированного полиэтилена в толуоле с добавкой стабилизатора. Перед нанесением покрытия формы очищают с помощью пескоструйного аппарата, затем кистью наносят слой эмали. Такой же слой эмали наносили на одну сторону пленки и через 30...40 мин приклеивали пленку к поверхности формы.

Так же было установлено, что коэффициент коррозионной стойкости бетона сухого формования с добавкой демпфирующего компонента и извести с пропиткой жидким стеклом достиг величины 0,91. Не снижает добавление извести и жидкого стекла стойкость бетона и в мягких водах, что объясняется более высокой плотностью модифицированного бетона и взаимным связыванием извести и жидкого стекла.

Увеличение содержания демпфирующего компонента сопровождается ростом прочности как при

сжатии, так и при растяжении. Оптимальное содержание демпфирующего компонента в бетонной смеси сухого формования составляет 20...30%.

В плотных бетонах проницаемость бетона определяется, главным образом, водоцементным отношением. При высоких значениях водоцементного отношения структура бетона характеризуется крупными капиллярными порами и седиментационными пустотами под поверхностью крупного заполнителя, что и является причиной высокой проницаемости таких бетонов.

Сухоотформованные бетоны оптимальных составов характеризуются низкими значениями водоцементного отношения отсутствием крупных капилляров и седиментационных пустот, что и обеспечивает их высокую непроницаемость.

Выводы. Сухое формование позволяет:

- отказаться от пропаривания и установки пропарочной камеры за счет разогрева сухой смеси при сушке и увлажнении, за счет термосного выдерживания изделий в течение 75 мин и применения раствора жидкого стекла в качестве ускорителя схватывания;

- устранить потери бетонной смеси, т.к. при сухом формовании форма неразъемная и все, что отделилось от изделия при его выемке, остается в форме и участвует в формовании следующего изделия;

- использовать мелкие пески и крупные фракции крупного заполнителя, в результате чего снижается расход цемента до 15%.

Л и т е р а т у р а

1. Формирование и генезис микроструктуры цементного камня / [Шпынова Л.Г., Синенькая В.И., Чих В.И. и др.]; под ред. Шпынова Л.Г. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском ун-те, 1975. – 160 с.
2. Механизм и долговечность действия некоторых добавок на свойства портландцемента / [Шпынова Л.Г., Никоненко И.И., Мельник М.В., Мельник С.К.] - Изв. вузов. Сер. Химия и химическая технология. – 1979. – Т. 22. – Вып. 3. – С. 344-349.
3. Чоговадзе Д.В. Исследование процесса разрушения цементного камня и раствора методом рентгенокино съемки / Чоговадзе Д.В. // Бетон и железобетон. – 1994. – № 7. – С. 26-29.
4. Гвоздев А.А. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / Гвоздев А.А. // НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 299 с.
5. Glucklich J. the Strength of Concrete as a Composite Material / Glucklich J. // Mech. Beh. / Mater. Pros. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. – Kyoto.– 1981. – Vol. 4. – P. 104-112.
6. Рояк С.М., Специальные цементы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Рояк С.М., Рояк Г.С.;– М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.

R e f e r e n c e s

1. Formiowanie i genesis mikrostruktury zementowego kamnia / [Hpinova L.G., Sinenkay V.I., Chih V.I.] – Lviv, 1975. – 160 s.

2. Mehanizm i dolgovechnost deystvia nekotorykh dobavok na svoystva portlandcementa / [Hpinova L.G., Nikonec I.I., Melnik M.V.] – 19769. – Т.22. – Vip. 3. – S/344-349.
3. Hogovadze D.V. Issledovanie processa razruhenia cementnogo kamna I rartvora metodom rengenorinosemki / Hogovadze D.V. // beton i gelezobeton. – 1994. – 7. S.26-29.
4. Gvosdev A.A. Prochnost, strukturnue izmenenia I devormacii betona / A.A. Gvosdev // NIIB Gosstroa SSSR. – M. Stroizdat, 1987. – 299 p.
5. Glucklich J. the Strength of Concrete as a Composite Material / Glucklich J. // Mech. Beh. / Mater. Pros. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. – Kyoto.– 1981. – Vol. 4. – P. 104-112.
6. Rojak S.M. Specialnie cementi. – 2-e pererab. i dop. Rojak S.M. Rojak G.S.; – М.: Stroi., 1983. – 279 с.

Драпалюк М.В. Вплив особливостей технології сухого формування залізобетонних виробів транспортних споруд на їх експлуатаційні властивості.

У статті проаналізовано зв'язок структури і міцності бетону, в результаті визначено шляхи оптимізації структури бетону транспортних споруд з метою підвищення тріщиностійкості та довговічності. Встановлено можливість підвищення міцності зчеплення заповнювача з цементним каменем за рахунок підвищення жорсткості цільних заповнювачів. Викладені основні особливості технології сухого формування залізобетонних виробів для транспортних споруд.

Ключові слова: бетон, сухі формування, міцність, цементна матриця, компоненти що демпфують, кристалогідратний зросток.

Drapaluk M. The impact of technology features dry molding concrete products transport facilities on their performance properties.

The article analyzes the relationship between the structure and strength of the concrete, as a result of the ways to optimize the structure of the concrete transport facilities in order to increase fracture toughness and durability. The possibility of increasing the adhesion strength of aggregate with cement stone due to stiffening dense aggregates. The basic features of the technology of dry molding concrete products for transport facilities. Also presents the main features of the technology of dry molding concrete products for transport facilities. The main results of the positive impact damping components on the concrete structure of transport facilities. The results showed that the heterogeneity of concrete, causing the emergence of microcracks, delays their rebirth in dangerous macrocracks, and the presence of stress concentrators in the structure of the material makes it less sensitive to external hubs as well as internal.

Keywords: concrete, dry form, strength, cement matrix, damping components kristalogidratny splice.

Драпалюк М.В. – к.т.н., доц. кафедри транспортних систем ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: drapalukmv@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Стаття подана 05.03.2015