

В. Н. ПИЛИПЕНКО (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка)

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА ДЛЯ ТРУБ КОЛЛЕКТОРОВ

У статті викладено основні положення розробленої технології віброударно-імпульсного ущільнення бетонної суміші для виготовлення труб каналізаційних колекторів. Показано, що застосування запропонованої технології забезпечує інтенсивне зростання міцності бетону в початковий період тверднення, скорочення тривалості теплової обробки або повне її виключення, виготовлення виробів з негайною распалубкою, підвищення водонепроникності, морозостійкості, корозійної стійкості й довговічності конструкцій.

В статье изложены основные положения разработанной технологии виброударно-импульсного уплотнения бетонной смеси для изготовления труб канализационных коллекторов. Показано, что применение предложенной технологии обеспечивает интенсивный рост прочности бетона в начальный период твердения, сокращение продолжительности тепловой обработки или полное её исключение, изготовление изделий с немедленной распалубкой, повышение водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и долговечности конструкций.

In the article main points of developed technology of vibroimpact-pulse compaction of concrete mix for producing the pipes of sewage collectors are stated. It is shown that using the offered technology ensures the intensive growth of concrete strength at an initial period of hardening, the reduction of duration of heat treatment or its absolute avoidance, the manufacture of products with the stability and longevity of structures.

Из всех видов неметаллических труб самыми экономичными могут быть бетонные, отличающиеся от асбоцементных экологической чистотой, а по сравнению с железобетонными – большей долговечностью как за счет отсутствия подверженной коррозии арматуры, так и за счет более плотной упаковки структурных компонентов бетонной смеси при уплотнении.

Производство высокопрочных неармированных изделий связано, в первую очередь, с максимальным использованием потенциальных вяжущих свойств цемента, которые находятся в прямой зависимости от степени уплотнения бетонной смеси и удаления избыточной воды затворения, а также вовлеченного воздуха.

Виброударно-импульсное прессование с одновременной модификацией бетонной смеси в процессе формования изделий обеспечивает интенсивный рост прочности бетона в начальный период твердения, сокращение продолжительности тепловой обработки или полное её исключение, изготовление изделий с немедленной распалубкой, повышение водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и долговечности конструкций.

Опыт производства бетонных труб в США (трамбованием – «Юниверсал», «Рото-Фарш», радиальным прессованием – «Мак-Кракен», «Зайдлер», «Гидротайл»), Германии (осевым прессованием – «Этлингер», радиальным

прессованием – «Цюблин», «Генке»), Италии (радиальным прессованием – «Сиоме»), Швейцарии (трамбованием – «Куин»; радиальным прессованием – «Фломакс»), Дании (виброгидропрессованием – «Виги», «Педерсхааб», «Римас»), Швеции (виброгидропрессованием – «Гермакс») и ряде других стран свидетельствует о том, что в каждой из них ежегодно производится 300...600 тыс. м<sup>3</sup> труб на станках осевого и радиального прессования, вибропрессующих машинах и другом оборудовании.

Получение высокоэффективных строительных конгломератов возможно путем модифицирования структуры цементной матрицы бетона. Следовательно, модифицирование цементной системы в данном направлении призвано улучшить технологические свойства материала. Путем модифицирования возможно изменение кинетики формирования физических характеристик и конечных значений прочности бетона.

Однако, различными исследованиями доказано, что в начальный период структурообразование цементного камня развивается в оптимальном направлении лишь при определенном объеме содержании воды [1, 2]. Предельное снижение водосодержания затрудняет процесс гидратации вяжущего, ограничивая прочностные свойства материала. В то же время, прочностные свойства материала улучшаются при

всемерном снижении объемного водосодержания смеси. Во всех случаях модификация бетона предполагает его состав неизменным от затворения смеси до конечной стадии формирования структуры бетона.

В настоящее время известны отдельные попытки физической модификации бетона, например, при его вакуумировании. В этом случае в бетонную смесь вводится оптимальное количество воды затворения, обеспечивающее оптимальное протекание реакций гидратации клинкерных минералов портландцемента [2]. Последующий отсос воды посредством изменения начального состава бетона приводит к изменению течения процесса структурообразования его цементной матрицы. В частности, резко повышается плотность материала и возрастают прочностные характеристики. Следует отметить, что физическое модифицирование бетона приводит к изменению характера фиксации частиц вяжущего.

Как известно, в зависимости от фиксации частиц взаимодействующих веществ могут образоваться два типа связей – слабые (вторичные) и прочные (первичные). Согласно определению [3], частицы образуют агрегат, если их взаимная потенциальная энергия  $\Pi = f(r)$  отрицательна.

Следовательно, можно заключить, что любые методы модификации бетона (вакуумирование, прессование, центрифугирование и др.) будут положительны, если они направлены на сжатие или сближение взаимодействующих элементов материала. При сближении двух частиц твердой фазы происходит уменьшение поверхностной энергии [3] на величину

$$\Delta\sigma = 2\sigma - \sigma_{гр}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{гр}$  – поверхностная энергия границы, образовавшейся между частицами;

$\sigma$  – поверхностная энергия частицы.

Возможность образования и сохранения устойчивых контактов между частицами зависит, в первую очередь, от свойств поверхностей этих частиц, природы сил и особенно их дальности действия. При оптимальном сближении частиц сила сцепления в контактах между ними будет достаточно высокой, что исключает седиментацию частиц под действием силы гравитационного поля и разрушение структурной сетки в результате участия частиц в тепловом броуновском движении.

В качестве составляющих сил сцепления необходимо учесть также и капиллярную, ко-

торая оказывает наибольшее влияние на адгезию гидрофильноповерхностных частиц и минимальное – для гидрофобноповерхностных частиц. В воздушной среде, если влажность ее превышает 65 %, капиллярная составляющая сил сцепления частиц преобладает над другими составляющими, при меньшей влажности она не будет столь существенной.

Поскольку максимальную прочность и водонепроницаемость бетона предполагалось достигнуть за счет обезвоживания бетонной смеси в процессе виброударного прессования, то большое внимание было уделено определению оптимальных условий выдавливания из нее избыточного количества воды затворения.

Интенсивное обезвоживание бетонной смеси виброударным прессованием может быть достигнуто при оптимальном количестве цементной системы, которая не только заполняет пустоты между зернами заполнителей, но и отодвигает их друг от друга на минимальное расстояние. Следовательно, состав бетонной смеси и режим виброударного прессования рассчитывались из условия получения бетона с минимальным остаточным В/Ц и максимальной прочностью. Критериями полного уплотнения бетонной смеси являются заданный уровень отжима избыточной воды затворения и достижение средней плотности отформованного бетона, близкой к теоретической плотности ( $K_v \geq 0,97$ ).

Бетонная смесь между прессующим бандажом и опалубочной стенкой изделия оказывается в сжатом состоянии. Напряженно-деформированное состояние бетонной смеси приводит к перемещению составляющих частиц заполнителя цемента и воды друг относительно друга при условии повышения напряжения предельного сопротивления сдвигу. Большое значение для процесса уплотнения смеси имеет цикличность приложения нагрузки от импульсных волн уплотнения и возвратно-поступательных движений движущейся формы.

Полученные замеры давлений и перемещений позволяют получить представления о физике импульсного гиперуплотнения бетонной смеси. Анализ перемещений (деформаций) в слоях бетонной смеси, полученных при обработке осциллограмм, показывает, что зона интенсивного уплотнения находится в пространстве от днища прессующего поршня до дна формы. С увеличением  $(В/Ц)_{нач}$  при одном и том же расходе цемента упругие деформации в слое увеличиваются. При  $(В/Ц)_{нач} = const$  с уменьшением расхода цемента упругие дефор-

мации бетонного слоя также несколько увеличиваются, что, по нашему мнению, связано с уменьшением вязкости прессуемой среды.

В результате комплексного воздействия виброударных усилий на элементарный объем бетонной смеси с сечением  $F$  действует сумма трех основных сил. Сюда относится сила собственного веса формуемого изделия вместе с наружной формой  $m$ , инерционные силы  $I$ , а также ударная нагрузка от прессующего бандажа  $P$ .

Наиболее сложно определяется давление от действия ударной нагрузки прессующего бандажа, тем более что применение ударной нагрузки в результате возвратно-поступательных движений наружной формы вместе с изготавливаемой бетонной трубой приводит к скручивающему удару. Для определения действительного механического напряжения методом механики сплошных сред необходимо использовать следующие предпосылки: между напряжением и деформацией при ударе существует прямо пропорциональная зависимость; модуль упругости бетонной смеси при статическом и ударном действии нагрузки одинаков.

Эти предпосылки с достаточной степенью точности подтверждаются экспериментами. При этом система, в которой реализуются взаимодействия, представляющие процесс систематических соударений, называется виброударной системой. Естественно, что указанные взаимодействия имеют определенную специфику по сравнению с актом единичного удара. Однако это справедливо, если частота вынужденных соударений, как в исследуемом случае, соизмерима с частотой собственных колебаний столба прессуемой бетонной смеси. В указан-

ной ситуации соударение прессующего органа, например, бандажа и столба бетонной смеси, происходит в возбужденной системе, обладающей некоторым запасом энергии, которая может накапливаться от удара к удару, вызывая развитие процесса гиперуплотнения смеси.

### Вывод

Разработанный способ уплотнения бетона при изготовлении труб для канализационных коллекторов позволяет совмещать в одном процессе укладку, уплотнение и модифицирование бетонной смеси, а также заглаживание внутренней цилиндрической поверхности изделия. Технология отличается обеспечением высокой точности геометрических размеров формуемых изделий, высокой степенью механизации производства при минимальной металлоемкости оборудования, высокой производительностью при низкой энергоемкости. Кроме того, возможна немедленная распалубка изделий, делающая технологию металлосберегающей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона [Текст] / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Масатэру, Т. Сверхпрочный бетон [Текст] / Т. Масатэру // Сементо Конкурито. – 1986. – № 355. – С. 53-59 / Пер. ЦНИИС № 28737. – М., 1989.
3. Гольдсмит, В. Теория и физические свойства соударяемых тел [Текст] / В. Гольдсмит. – М.: Стройиздат, 1985. – 215 с.

Поступила в редколлегию 25.03.2009.