

УДК 65.012 : 517.8 : 693.54 : 022.5

А.А.КАЧУРА, канд. техн. наук, Е.В.КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Д.А.ГРЕБЕННИКОВ

Московский государственный университет путей сообщения (Российская Федерация)

ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ ПО РОТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Приведены сведения о сталефибробетонах, показана перспективность их применения в строительстве. Изложены основы получения сталефибробетонов по ротационной технологии, требования к составам дисперсно-армированных бетонов (ДАБ).

Наведено відомості про сталефібробетони, показано перспективу їх використання в будівництві. Викладено основи одержання стаблефібробетонів по ротаційній технології, вимоги до складів дисперсно-армованих бетонів (ДАБ).

Information is resulted about stablefibrobetonakh, rotined perspective of their application in building of. Expounded basis of receipt of stablefibrobetonov on rotary technology, requirements are expounded to compositions of DAB.

Ключевые слова: сталефибробетон, ротационная технология, применение в строительстве, составы.

Возведение монолитных зданий и сооружений, рост объемов работ, связанных с ремонтом и реконструкцией объектов, выдвигают задачи снижения металлоемкости, энергоемкости, стоимости и трудоемкости производства бетонных работ.

Как показано в работах [1, 2], решение поставленных задач возможно путем разработки и внедрения в практику строительства новых прогрессивных строительных материалов и современных технологий.

Необходимо отметить, что в настоящее время в строительстве особое внимание уделяется фибробетонным композиционным материалам, полученным путем формирования и твердения рационально подобранной бетонной смеси с различной дисперсной арматурой. Особый интерес представляет дисперсно-армированный сталефибробетон, в котором сочетание бетонной смеси с дисперсной арматурой позволяет получить эффективные, прочные и долговечные бетонные изделия и конструкции [2, 3].

Как показывают исследования, проводимые учеными различных стран, применение дисперсно-армированных сталефибробетонов, особенно при возведении и ремонте специальных сооружений, устройстве монолитных фундаментов, ростверков, перекрытий, полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов и других конструкций, дает возможность существенно упростить трудоемкие арматурные работы, обеспечить экономию металла, уменьшить толщину изделий,

повысить ряд физико-механические свойств бетонов [4, 5].

Дисперсно-армированные бетоны представляют собой бетонную матрицу заданного состава, армированную дисперсными волокнами – фибрами. В качестве дисперсной арматуры в настоящее время широко используют различные виды металлических фибр, полученных из отходов производства. Возможно также применение неметаллических волокон минерального или органического происхождения.

Необходимо отметить, что в настоящее время в строительной отрасли особый интерес возрос именно к сталефибробетону [2-4]. На основании исследований установлено, что сталефибробетон – это композиционный материал, полученный в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего, заполнителей, воды затворения и дисперсной арматуры – металлической фибры. Возможно применение специальных добавок. По классификации DIN 1045 (Германия) сталефибробетон – это бетон, в который добавляют стальные фибры для достижения необходимого уровня трещиностойкости [3].

Относится сталефибробетон к классу тяжелых бетонов. Необходимо отметить, что металлическая фибра, которая вводится в бетонную смесь, обычно изготавливается из отходов стальной проволоки, канатов, листов.

В строительстве для получения фибробетона наибольшее распространение получила стальная фибра длиной от 20 до 120 мм, диаметром от 0,5 до 1,2 мм. Для улучшения сцепления с бетоном фибра изготавливается волновой формы, специально профилированной либо прямой с загнутыми концами.

Как показано в работе [5], стальные фибры достаточно хорошо анкеруются в теле бетона, и в отличие от традиционного вида армирования предотвращают развитие усадочных трещин на начальной стадии твердения бетонной смеси. В результате фибрового армирования полученный сталефибробетон обладает существенным рядом преимуществ перед бетоном с традиционным армированием. Так, прочность дисперсно-армированного бетона на сжатие возрастает от 10 до 50%, на осевое растяжение от 10 до 40%, ударная прочность повышается в 10-12 раз, сопротивление истираемости в два раза, трещиностойкость в три раза.

Как показали исследования [7, 8], для достижения наибольшей эффективности применения сталефибробетонов необходимо особое внимание уделить: вопросу подбора составов фибробетонных смесей; способу введения фибр, который обеспечит равномерное их распределение в матрице; а также обоснованию технологии формования изде-

лий, конструкций из фибробетонных смесей.

По данным различных исследователей установлено, что единой методики подбора составов дисперсно-армированных бетонов нет. Применяются традиционные способы подбора состава как песчаных бетонов, так и бетонов с крупным заполнителем. Номинальный расход фибр на 1 м^3 бетона составляет от 30 до 120 кг.

Как показано в работах НИИЖБ (Россия), для армирования оголовков свай расход фибр на 1 м^3 бетона составлял 66-117 кг. В результате повысилась ударостойкость, снизилось количество не забитых свай и трудоемкость процесса погружения. При устройстве монолитного днища резервуара технической воды расход фибр составлял 120 кг на 1 м^3 .

Так, в Германии фирмой «Варикон» сталефибробетон применялся как покрытие аэродромов, мест стоянки автобусов, грузовиков и др. Бетонные матрицы использовались двух типов с крупной и мелкой фракцией заполнителей. Способ введения фибр производился перед укладкой смеси на подготовленное основание. В 2001 г. Немецкой ассоциацией по бетону в строительной технологии разработаны рекомендации по сталефибробетону [3].

Итальянской фирмой «Эмако» было предложено использование сталефибробетонных смесей для ремонта поверхностей методом торкретирования. В процессе бетонирования смеси смешивались с водой как до укладки, так и в процессе укладки. Полученные сталефибробетоны имели низкое водопоглощение (2,9-4%), высокую водонепроницаемость – В10.

Однако, необходимо отметить, что метод торкретирования энергоемкий и малопродуктивный [6]. В настоящее время вопросами получения сталефибробетона занимаются строительные фирмы Японии, Англии, США. Фирмой «Драмикс» (Бельгия) с учетом формуемой конструкции изделия, применялись составы с оптимальным расходом дисперсной арматуры от 30 до 129 кг на 1 м^3 бетона.

Как показано в работе [5], способ введения фибр и увеличение их расхода на 1 м^3 бетона (более 120 кг) приводит к образованию характерных скоплений фибр в виде «ежей» и клубков, что приводит к возникновению дефектов структуры бетонной матрицы, влияет на однородность распределения фибр и отрицательно сказывается на физико-механические свойства бетона.

Очевидно, одним из основных направлений технологии производства сталефибробетона является обоснование способа введения фибр в бетонную матрицу, который позволит получить однородный материал с оптимальным содержанием фибр, и способа формования

изделий и конструкций.

В практике строительства известно несколько способов получения бетонных смесей с фибрами. Например, сначала перемешивают песок с заполнителем, а затем вводят требуемое количество фибр, после этого в смесь добавляют расчетное количество цемента и воды и продолжают перемешивание до получения однородной массы. В ряде случаев дисперсную арматуру добавляют предварительно перемешанную с водой, а затем вводят цемент и недостающую воду. При приготовлении мелкозернистого бетона дисперсную арматуру обычно вводят в последнюю очередь. Такие технологические приемы требуют специальных и дорогих бетоносмесителей, процесс энергоемок, при расходе арматуры от 100 до 120 кг наблюдается образование «ежей».

Наилучшие результаты получены с применением принудительного лопастного бетоносмесителя. В ходе работ сначала перемешивали цемент, песок, крупный заполнитель, затем вводили требуемое количество фибр. В процессе перемешивания смеси добавляли воду. Перемешивание продолжалось до получения однородной массы.

Опыты показали, что получить однородную бетонную смесь возможно при условии равномерного введения фибр в бетонную смесь в процессе перемешивания.

Очевидно, что определяющим для получения фибробетонов заданных свойств является равномерное распределение фибр в бетонной матрице, которое существенно зависит от процента армирования, способ введения фибр, принятого типа бетоносмесителя.

Исследования, проводимые в Харьковской национальной академии городского хозяйства на кафедре ТСП и СМ, показали, что весьма эффективной для реализации способа получения сталефибробетонов заданных свойств является разработанная ротационная технология ударно-импульсной укладки и уплотнения смеси [7, 8]. Основным рабочим органом является роторное метательное устройство, которое состоит из неподвижного стенда и сменных лопастных роторов с электрическим приводом. В данных исследованиях применялась 4-роторная метательная головка, которая отличается большой производительностью (30-60 м³/ч и более) и удельным расходом энергии (0,6-0,8 кВт/м³).

Метательное устройство является отдельным узлом, которое встраивается в общую систему бетоноформовочного комплекса. При стационарном использовании технологического оборудования, метательное устройство может быть смонтировано на неподвижной раме над главным конвейером, на котором перемещаются формы, или на самоходной тележке, перемещающейся над неподвижными формами.

В процессе работы роторного металлического устройства энергозатраты определяются работой, затрачиваемой на переработку бетонной смеси в поток дискретных частиц, выбрасываемых из рабочего пространства роторов на ее укладку и уплотнение. Такой способ формирования объединяет ряд технологических операций, сокращает время на укладку и уплотнение смеси, повышает производительность, качество продукции [9].

При исследовании технологических режимов получения сталефибробетона по ротационной технологии, нами изучены: способы введения фибр, определены такие показатели, как максимальный процент насыщения объема фибрами при ротационном способе получения бетона; фактическое содержание фибр в бетоне; характер направленности армирования и возможность его регулирования при формировании.

В качестве формовочного состава для технологических исследований применялась увлажненная цементно-щебеночная смесь. Фибры и формовочный состав смеси в определенных количествах укладывались на ленте подающего транспортера, после этого проводилось включение роторов и транспортеров. Отформованные образцы в виде кубов с ребрами 15 см распалубливались и подвергались размыву на ситах. Фибры, содержащиеся в образцах, извлекались и просушивались. Попутно, на различных этапах, изучалась однородность полученной смеси и характер ориентирования фибр в образцах. При технологических исследованиях, а также при изучении физико-механических свойств сталефибробетона использовались фибры длиной 65-120 мм диаметром 0,65 мм. При разработке способа введения фибр проанализированы три варианта:

- а) расположение навески фибр на ленте конвейера с последующим покрытием его слоем формовочной смеси;
- б) расположение навески фибр по верху уложенного металетями слоя формовочной смеси;
- в) расположение навески фибр между двумя слоями формовочной смеси.

Навеска фибр определялась по расчету в зависимости от проектируемого процента армирования ($\mu_{пр}$). Образцы изготовлялись в количестве 6 штук для каждого значения $\mu_{пр}$ и способа укладки (*a*, *b*, *в*). Контролируемым параметром являлось остаточное – фактическое ($\mu_{ф}$) содержание фибр в образцах.

Однородность оценивалась в соответствии со стандартными требованиями. Результаты испытаний приведены в табл.1, где в числителе указано среднее арифметическое из шести испытаний, а в знаменателе внутрисерийный коэффициент вариации (C_v).

Таблица 1 – Содержание фибры в бетоне ротационной технологии до и после испытаний

№ п/п	$\mu_{пр}$	μ_f / C_v		
		фибра на ленте конвейера покрыта смесью, <i>a</i>	фибра на слое смеси лежащей на конвейере, <i>б</i>	фибра между двумя слоями смеси, <i>в</i>
1	1,0	0,69/12,5	0,69/9,2	0,93/10,4
2	1,5	1,02/9,7	0,89/10,7	1,34/9,3
3	2,0	1,55/13,3	1,43/12,9	1,85/14,1
4	2,5	1,87/10,4	1,65/11,4	2,38/14,3
5	3,0	2,15/12,9	1,84/14,5	2,88/12,1
6	3,5	2,61/13,7	1,93/16,9	3,36/13,9
7	4,0	2,67/10,8	2,03/13,4	3,65/15,7
8	4,5	3,06/11,3	2,37/15,7	3,62/16,9
9	5,0	3,41/14,7	2,61/14,9	-
10	5,5	3,54/10,6	2,83/16,1	-
11	6,0	3,69/16,5	3,15/18,2	-

Примечание: приведенные в табл.1 данные получены с применением фибр длиной 65 мм

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при введении фибр через конвейер и межроторное пространство наблюдался некоторый разброс дисперсной арматуры, вызванный воздействием воздушного потока, возникающего при работе роторов. Наименьший разброс до 7% происходит при укладке фибр по способу *в*. В дальнейших исследованиях нами принят этот способ укладки для формования изделий с учетом 7% поправки при назначении процента армирования (μ).

При определении максимальной степени насыщения бетона фибрами установлено, что насыпная масса хаотически расположенных фибр зависит от их геометрических размеров (длины l , и диаметра d) и может быть выражена формулой

$$\frac{\mu \cdot l}{d} \approx const \approx 4.$$

При этом установлено, что достаточно однородная смесь может быть получена при

$$\frac{\mu \cdot l}{d} \approx 2 \dots 3.$$

В соответствии с этим для арматуры $d = 0,65$ мм и $l = 65$ мм максимальную однородность смеси можно определить

$$\mu_{\max} = \frac{4 \cdot 0,65}{65} \cdot 100\% = 4\%,$$

а однородная смесь после перемешивания в смесителе может быть по-

лучена при

$$\mu_{mfч} = \frac{3 \cdot 0,65}{65} \cdot 100\% = 3\% .$$

В результате исследований нами установлено, что при ротационной укладки смеси (при подаче фибр через межроторное пространство) возможно получение однородной смеси при $\mu_f = 3,62$ (табл.1), приближающемуся к предельному значению для направленного распределения фибр в матрице бетона.

При исследовании возможности направленного армирования, с целью выявления характера распределения и выяснения возможности регулирования расположением фибр в формуемых изделиях, проведены серии опытов, в которых характер распределения фибр в образцах ставился в зависимости от первоначального их ориентирования на подающем конвейере. Фибры располагались тремя способами: параллельно оси конвейера; перпендикулярно оси; хаотично. В результате испытаний установлено, что в независимости от способа расположения фибр на конвейере, в образцах наблюдалось, в основном, плоско направленная ориентация фибр.

Образование плоско направленного ориентирования фибр объясняется тем, что при принятом способе подачи фибр (через межроторное пространство) они находятся в состоянии свободного падения.

Нами установлено, что при ротационном способе получения сталефибробетона, существенную роль играет наличие крупного заполнителя в бетонной смеси. Несмотря на то, что различные фирмы в основном рекомендуют для приготовления сталефибробетонов применять мелкозернистую бетонную смесь, опыт показал, что зерна крупного заполнителя в процессе метания являются рабочими телами, воздействующими на уплотняемый слой множеством ударных импульсов, обеспечивая таким образом качество уплотнения. Согласно физико-механическим исследованиям основным свойством сталефибробетона является его прочность при растяжении. Для изучения прочности при растяжении были изготовлены три партии образцов различного состава:

- 1) Ц:П = 1:3; В/Ц = 0,5
 цемента, кг/м³ – 512;
 песка ” – 1536;
 воды ” – 260.
- 2) Ц:П:Щ = 1:1,23:3,6; В/Ц = 0,5
 цемента, кг/м³ – 374;
 песка ” – 460;

- щебня ” – 1348;
 воды ” – 187.
 3) Ц:П:Щ = 1:1,30:3,54; В/Ц = 0,5
 цемента, кг/м³ – 374;
 песка ” – 484;
 щебня ” – 1324;
 воды ” – 187.

Образцы изготовляли на портландцементе М-400. Форма образцов – кубы с ребром 15 см. При формовании использовали технологические исследования: расположение фибр принималось по варианту *в*, максимальный процент армирования фибрами равнялся – 3,5%.

Результаты испытаний на однородность приведены в табл.2, где μ_f – объемное содержание фибр в бетоне, %.

Таблица 2 – Прочность при растяжении сталефибробетона ротационной технологии ударно-импульсного способа формования

№ п/п	μ_f	Состав 1			Состав 2			Состав 3		
		R ₁ (МПа)	R ₁ /R ₂	C _v	R ₁ (МПа)	R ₁ /R ₂	C _v	R ₁ (МПа)	R ₁ /R ₂	C _v
1	0	1,47	100	4,6	1,31	100	5,2	1,08	100	6,3
2	0,5	1,50	102	8,7	1,34	102	7,6	1,09	101	9,1
3	1,0	1,65	112	11,1	1,39	106	12,2	1,13	105	13,1
4	1,5	2,39	163	10,8	1,87	141	15,3	1,45	134	18,4
5	2,0	3,36	229	12,1	2,57	196	14,1	1,87	173	20,3
6	2,5	3,92	267	16,5	3,21	244	15,8	2,32	215	22,0
7	3,0	5,05	344	15,4	3,72	283	16,4	-	-	-
8	3,5	5,98	409	17,7	4,47	334	18,7	-	-	-

R₁, R₂ – средние арифметические значения прочности при раскалывании образцов в сериях, соответственно, неармированных и армированных, (МПа). C_v – внутрисерийный коэффициент вариации в процентах.

Полученные данные свидетельствуют об устойчивом повышении прочности при растяжении с увеличением объемного содержания фибр μ и увеличением размера щебня. Для состава 3, изготовленного на крупном щебне (фракция 30-40 мм), максимальное значение μ оказалось равным 2,5%. При повышении этого значения наблюдалось появление пустот и раковин в отформованных образцах.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ротационная технология бетонирования, разработанная в Харьковской национальной академии городского хозяйства, является перспективным методом изготовления сталефибробетона, который позволяет получить качественные изделия и конструкции с повышенным содержанием фибр, в сравнении с традиционными методами.

1. Боженов Ю.М. и др. Модифицированные высокопрочные бетоны. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Боженов Ю.М. Новому веку – новые эффективные бетоны и технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI век. – 2001. – №1 (24). – С.12-13.
3. Книтл И., Боегл М. Использование самоуплотняющегося сталефибробетона при производстве сборных железобетонных конструкций // Бетонный завод. – 2008. – №3. – С.14-19.
4. СП 52-104-206. Сталефибробетонные конструкции. – М.: НИИЖБ ФГУРЦПП, 2006. – 79 с.
5. Попов О.В., Огарков Б.Л., Хлыцов Н.В., Рожнюк Е.В. Особенности технологии приготовления дисперсно-армированного композита // Материалы к 44-му междунар. семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК 44. – Одесса: Астропринт, 2005. – С.137.
6. Кузнецов М.Н., Марчуков Н.С. и др. Торкретирование. Современное состояние // Механизация строительства. – 2001. – №5. – С.6-10.
7. Качура А.А., Лапшин А.С. и др. Лопастной питатель с увлажняющим устройством для стабилизации процесса механического торкретирования с комплексной расширенной добавкой // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.60 – К.: Техніка, 2004 – С.90-95.
8. Кондращенко В.И., Дюженко М.Г., Качура А.А. Новая технология механического торкретирования, элементы теории, перспективы практического применения // Тр. междунар. науч.-практ. конф. «Наука и технологии силикатных материалов – настоящее и будущее». Т. V. – М., 2003. – С.129-134.
9. Бабиченко В.Я., Данелюк В.И., Дюженко М.Г., Войтюк Ю.В., Гончар В.Г., Качура А.А., Третинник А.Н. Анализ энергозатрат при бетонировании посредством устройств ударно-импульсного уплотнения // Материалы к 46-му междунар. семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК 46. – Одесса: Астропринт, 2007. – С.217-218.

Получено 08.04.2010

УДК 69.022.32

В.Г.СОХА, канд. техн. наук

Хенкель Баутехник, г.Киев

А.И.МЕНЕЙЛЮК, д-р техн. наук, И.Н.БАБИЙ, канд. техн. наук

А.А.БОРИСОВ, В.К.ВОЛКАНОВ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С ОТДЕЛКОЙ ШТУКАТУРКАМИ НА КОГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ УТЕПЛИТЕЛЯ

Исследуется влияние сроков эксплуатации системы теплоизоляции фасадов с минераловатным утеплителем различной плотности при отделке полимерцементной штукатуркой, которые эксплуатируются в натуральных условиях. Показано, что при длительной эксплуатации системы в натуральных условиях (в течение 10 лет) происходит снижение когезионной прочности минераловатного утеплителя.

Досліджується вплив строків експлуатації системи теплоізоляції фасадів з мінераловатним утеплювачем різної щільності при обробці полімерцементною штукатуркою.