

БЕТОН ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫМ СИНТЕТИЧЕСКИМ ВОЛОКНОМ**Hutak Shafiullah¹, Толегенова А.², Акмалайулы К.³**

¹ Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Казахстан, магистрант, Shafihutak786@gmail.com

² Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Казахстан, докторант, aigerim.tolegenova.94@mail.ru

³ Архитектура жана курулуш институту. Т. К. Тамсенова, Күйөө, Алматы, Казакстан профессор, kakmalaev@mail.ru

Аннотация. Дисперсное армирование бетона фибриллированным синтетическим микроволокном позволяет компенсировать недостатки бетона – образование усадочных трещин, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. В результате сравнительных испытаний установлено, что введение микроволокна в бетон незначительно повышает предел прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом, но при этом значительно увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе (до 20%). Наиболее приемлемым расходом микроволокна для исследованного бетона является 0,8-0,95 кг/м³.

Ключевые слова: дисперсно-армированный бетон, полипропиленовое волокно, фибриллированное микроволокно, прочностные характеристики.

БЕТОН ЧАЧУУ-КҮЧӨТҮЛГӨН СИНТЕТИКАЛЫК БУЛА**Hutak Shafiullah¹, Толегенова А.², Акмалайулы К.³**

¹Архитектура жана курулуш институту. Т.К.Васенова, Күйөө, Алматы, Казакстан магистрант, Shafihutak786@gmail.com

²Архитектура жана курулуш институту. Т.К.Васенова, Күйөө, Алматы, Казакстан докторант, aigerim.tolegenova.94@mail.ru

³Архитектура жана курулуш институту. Т.К.Васенова, Күйөө, Алматы, Казакстан профессор, kakmalaev@mail.ru

Аннотация. Фибриллирленген синтетикалык микрофибра менен бетонду дисперстүү бекемдөө бетондун кемчиликтерин жоюуга мүмкүндүк берет-кичирейүү жаракалары, чыңалуу күчү жана сынуу морттугу. Салыштырмалуу сыноолордун натыйжасында, бетонго микрофибрди киргизүү контролдук кошулмага салыштырмалуу кысуу күчүн бир аз жогорулатат, бирок ийилүү чыңалуу күчүн кыйла жогорулатат (20% га чейин). Изилденген бетон үчүн эң алгылыктуу микрофибра агымы 0,8-0,95 кг/м³.

Негизги сөздөр: дисперстүү күчөтүлгөн бетон, полипропилен буласы, фибриллирленген микрофибра, күч мүнөздөмөлөрү.

CONCRETE WITH DISPERSIVE-REINFORCED SYNTHETIC FIBER**Hutak Shafiullah¹, A. Tolegenova¹, K. Akmalaiuly¹**

¹T.K. Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, master's student, Shafihutak786@gmail.com

²Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Бас Т.К. *Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, doctoral student aigerim.tolegenova.94@mail.ru*

³Т.К. *Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University Almaty, Kazakhstan, professor, kakmalaev@mail.ru*

Annotation. *The effectiveness of surfactants with different values can change significantly when they interact with the liquid phase of hydrated cement, depending on its type, mineralogical and material composition, fineness of grinding, type of aggregate, presence of alkalis, etc. Since the composition of the liquid phase largely determines the conditions for the formation of hydrate neoplasms, their phase and morphological characteristics, it can be assumed that the introduction of surfactants of the appropriate types will make it possible through the liquid phase to directly influence the kinetics of structure formation of the hardening concrete mixture, the formation of the structure and properties hardened cement stone and concrete.*

Key words: *disperse-reinforced concrete, polypropylene fiber, fibrillated micro-fiber, strength characteristics.*

Введение. Известно, что бетонные и железобетонные конструкции в зависимости от условий эксплуатации, подвергаются динамическому воздействию, в частности шпалы высокоскоростных магистралей, верхнее строение пути (в метростроении), фундаменты машин с динамическими нагрузками, плиты аэродромные и дорожные, мостовые конструкции). Причем источники динамических воздействий могут быть как внешними по отношению к сооружениям, так и внутренними, расположенными внутри сооружения. В свою очередь данные нагрузки могут иметь различные направление и характер приложения к конструкции нагрузки – распределенная нагрузка, моменты, сосредоточенные силы. В результате воздействия данных нагрузок происходит накопление повреждений на микроуровне, дальнейшее развитие которых приводит к образованию и раскрытию трещин, что значительно снижает срок службы, несущую способность, степень стойкости в агрессивных средах. Одно из перспективных решений данной задачи является применение конструкционных материалов на основе дисперсно-армированных бетонов. Дисперсное армирование осуществляется за счет равномерно - распределенных волокон в объеме бетонной матрицы.

Практический опыт показывает, что с повышением прочностных характеристик бетона, растет его хрупкость, при этом происходит снижение деформативных свойств, что приводит к разрушению материала при достижении им предельного состояния. В связи с этим, перспективным решением, позволяющим повысить трещин стойкость тяжелого бетона, является дисперсное армирование. В щелочных средах роль катализатора выполняет гидроксил ион, который способен хемо сорбироваться на поверхности частиц кремнезема, при этом повышая координационное число поверхностных атомов кремния более четырех, таким образом, ослабляя их кислородные связи с лежащими ниже атомами кремния. Структурообразования и

технологии получения композитов на основе дисперсно-армированных бетонов, свойствам этих материалов и методам проектирования конструкций с их применением. Рассмотрены принципы дисперсного армирования бетонных матриц, в качестве армирующих материалов применялись волокна органического происхождения, стальные, стеклянные, базальтовые. Особенность волокнистой композиционной структуры заключается в равномерном распределении высокопрочных, высокомодульных волокон в пластичной матрице (содержание их может достигать 75 %). В дисперсно-упрочненных материалах оптимальным содержанием дисперсной фазы считается 2-4 %. Дисперсные частицы в указанных материалах в отличие от волокон создают только «косвенное» упрочнение.

Дисперсное армирование бетона позволяет частично компенсировать недостатки бетона как хрупкого материала: низкие значения предела прочности при растяжении, хрупкость разрушения. Свойства дисперсно-армированного бетона значительно зависят от свойств армирующих волокон. Для повышения прочностных характеристик дисперсно-армированного бетона следует определить, как влияют характеристики волокон (длина, диаметр и их расход) на свойства бетона. В области разработок дисперсно-армированных бетонов проведено много исследований, но эта тема требует дальнейшего изучения при использовании синтетических микроволокон [1-5].

Рассмотрено несколько типов применяемого фибр волокна: полиамидное, полипропиленовое и базальтовое. Анализ полученных результатов испытаний образцов по определению предела прочности на растяжение при изгибе и на сжатие, привел к выводу, что наиболее эффективным является применение базальтового волокна. Базальт фибр бетон обладает высокой прочностью и декоративностью, т.к. армирующее его волокно обеспечивает высокую степень дисперсности армирования цементного камня. На эффективность дисперсного армирования оказывает влияние отношение модулей упругости материалов волокон и матрицы, количество волокон, химическая стойкость материала фибр по отношению к материалу матрицы, геометрические характеристики фибр (длина, диаметр, рельеф поверхности), соотношение размеров армирующих волокон с размерами неоднородностей структуры матрицы. Это делает важным вопрос выбора материала волокон и фибр. Например, полипропиленовые волокна характеризуются более низким модулем упругости и повышенной деформативностью по сравнению со стальной фиброй.

Стальная фибра имеет модуль упругости, в шесть раз превышающий модуль упругости бетона. Однако она подвержена коррозии. Синтетические волокна имеют ряд преимуществ по сравнению со стальной фиброй и могут успешно использоваться для ряда задач, например на открытых площадках и бетонных дорогах из-за отсутствия коррозии. Можно выделить следующие виды композитов, где сегодня исследуется

применение полипропиленового волокна: конструкционный легкий бетон, теплоизоляционные растворы, композиты для тонких армированных оболочек объемных бетонных блоков в объемно-блочном домостроении [6-8].

В волокнистых композиционных материалах волокна воспринимают основные напряжения, возникающие в композите при действии внешних нагрузок, и обеспечивают прочность и жесткость композиции в направлении ориентации волокон. Матрица, заполняющая межволоконное пространство, обеспечивает совместную работу отдельных волокон за счет собственной жесткости и взаимодействия, существующего на границе раздела матрица - волокно. Механические свойства волокнистого композиционного материала определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью армирующих волокон, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица-волокно.

Материалы и методы. Для проведения испытания растяжение призмы при изгибе готовили образцы-призмы размером 70x70x280 мм, при этом учитывали число образцов в серии и принимали в зависимости от среднего внутри серийного коэффициента вариации прочности бетона. Фибрилляция волокна заключается в отделении от волокон фибрилл, что приводит к увеличению общей наружной поверхности волокна, прочность самих волокон при этом не снижается (рис. 1).

При увеличении удельной поверхности микроволокон повышается их адгезия с цементным камнем. Шероховатость поверхности микроволокон и их фибрилляция могут также способствовать повышению адгезии волокна с цементным камнем.

Диаметр элементарных фибрилл в зависимости от происхождения составляет 1,5–3,5 нм, а количество макромолекул – от 600 до 1500. В свою очередь, элементарные фибриллы образуют более крупные ассоциативен – миофибриллы, своеобразную матрицу структуры, располагающуюся в областях со значительно менее упорядоченной структурой с поперечным сечением от 4 до 10–20 нм. Миофибриллы формируют волокна целлюлозы, диаметр которых составляет порядка 100 – 200 нм. Для основных областей применения волокон материалов большое значение имеют процессы сорбции и набухания (процессы взаимодействия волокон с водой). Именно с этими процессами связаны прекрасные гигиенические характеристики материалов.

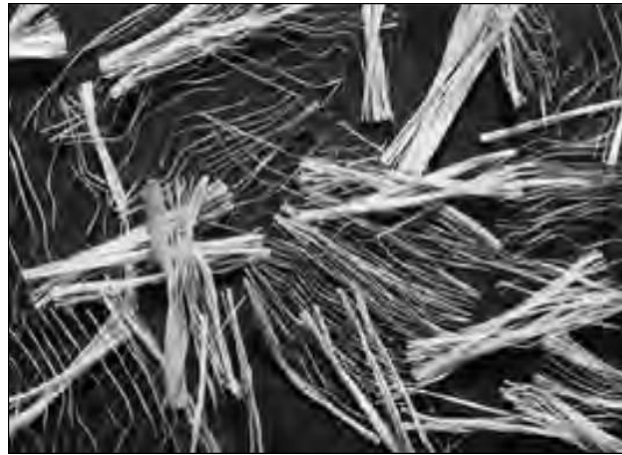


Рис. 1. Фибриллированные волокна

Исследования по модифицированию синтетических волокон с целью их эффективного использования в составах цементных композитов проводятся многими учеными. Например, вопросы повышения модуля упругости, теплостойкости и гидрофильности полипропиленового волокна представлены в работе. Таким образом, в настоящее время предлагаются технические решения по получению синтетических волокон, направленные на повышение теплостойкости, прочности, снижения деформативности, повышения адгезии к цементной матрице.

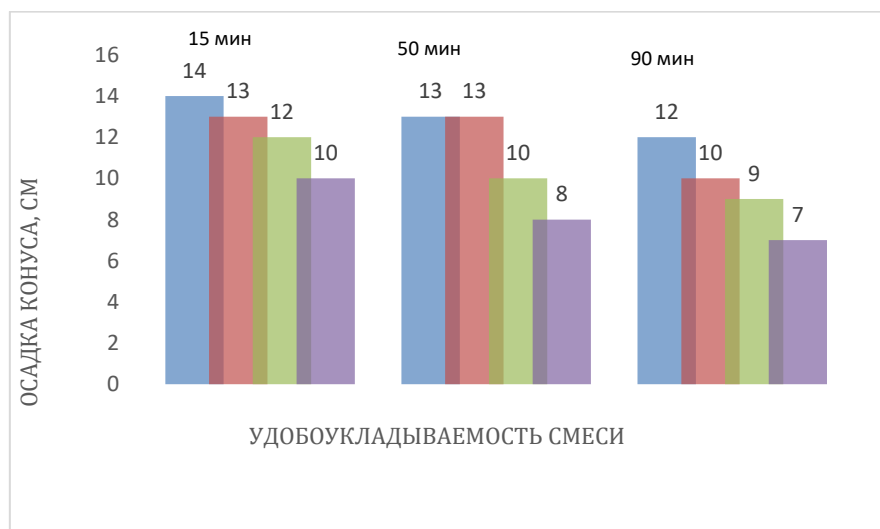
Определен контрольный состав тяжелой бетонной смеси с оптимальным расходом исходных материалов на 1 м³ бетонной смеси, при котором обеспечиваются следующие условия: выдерживаются заданные физико-механические, гидрофизические характеристики, эксплуатационные свойства бетона и при этом техническая эффективность.

Результаты и обсуждения.

Полученные положительные результаты исследований на растяжение при изгибе модифицированного бетона на основе активированного микро кремнезёма с базальтовым волокном согласуются с работами, что связано с работой волокна в системе образования пространственной -армированной структуры цементного камня и повышением трещин стойкости. Введение базальтового волокна не только повышает разрушающее напряжение, но и меняет характер деформирования бетона, увеличивая долю псевдо пластических деформаций при нагружении и соответственно работу разрушения.

Наилучшим способом с точки зрения влияния на прочность затвердевшего бетона оказался способ введения микроволокна в сухую смесь. Изучено влияние расхода фибриллированного микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость смеси. Для оценки удобоукладываемости пробы бетонной смеси для испытаний отбирались на месте ее приготовления из средней части замеса. Испытание начиналось не позднее

чем через 10 мин после отбора пробы. При контроле определялась удобоукладываемость и плотность смеси. Для определения влияния расхода микроволокна на удобоукладываемость и живучесть бетонной смеси были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 2.



1– без добавки; 2– 800 кг/м³; 3– 900 кг/м³; 4 – 1000 кг/м³

Рис. 2. Влияние расхода микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость бетонной смеси:

Расход цемента составил 420 кг/м³; В/Ц=0,42; суперводоредуцирующая добавка в количестве 0,5%; расход синтетического микроволокна – 800, 900, 1000 г/м³.

Для нашего случая применение в составе бетона микроволокна с расходом больше, чем 1,0 кг/м³, приводило к заметному увеличению водопотребности смеси, что ведет к снижению прочности бетона. Очевидно, что на расход волокна будет влиять его длина. Из проведенных экспериментов было установлено, что одним из обязательных условий выбора расхода волокна должно быть условие сохранения водопотребности смеси, сопоставимой с контрольным составом. В противном случае увеличение водопотребности смеси сводит на нет возможности улучшения свойств бетона за счет использования фибриллированного микроволокна.

При введении синтетического микроволокна с расходом 900 и 1000 г/м³ осадка конуса несколько уменьшилась, марка по удобоукладываемости смеси осталась прежней. Таким образом, из условия сохранения водопотребности смеси целесообразно назначать расход волокна 900–1000 г/м³.

Поверхностное разрушение начинается в виде шелушения поверхности бетона и развивается в дальнейшем в виде отслаивания. Шелушение и отслаивание, вероятно, можно объяснить разрушением пор и капилляров, стенки которых выходят на поверхность бетона из-за отсутствия внешнего давления. К тому же, как было сказано выше, в порах поверхностного слоя вследствие миграции воды в охлаждаемой

поверхности может развиваться весьма высокое давление. Поверхностное разрыхление бетона сопровождается увеличением его объема, повышением вод поглощения, снижением прочности и модуля упругости. Это разрушение можно, вероятно, объяснить накапливанием микротрещин за счет гидравлического давления в порах и капиллярах.

Для получения качественного бетона одним из необходимых условий является предотвращение образования усадочных микротрещин при твердении бетона. Доля цементного геля является определяющим фактором изменения объема систем. Для решения этой проблемы может подойти фибриллированное микроволокно. В одном кубометре бетона при расходе волокна $0,85 \text{ кг/м}^3$ содержится более 9,5 млн волокон, которые, армируя твердеющий бетон во всех направлениях, могут снижать усадку.



Рис. 3. Образец дисперсно-армированного микроволокном бетона

Высокопрочные бетоны имеют опасность хрупкого разрушения конструкций, так как со снижением величины водоцементного отношения увеличивается отношение предела прочности при сжатии к пределу прочности при изгибе. Исследование влияния микроволокна на прочностные характеристики бетона было проведено на бетонной смеси. Образцы бетона имели гладкую поверхность, только с верхней стороны образца можно было определить наличие микроволокна (рис. 3). Прочность призм размером $10 \times 10 \times 40$ см значительно увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе (до 15 %).

Растворы солей небольшой концентрации не агрессивны к бетону при постоянном погружении в них конструкций, но при попеременном насыщении и высушивании или при капиллярном впитывании такого раствора возможны повышение концентрации раствора в высыхающем бетоне и их кристаллизация в порах бетона (солевая форма физической коррозии). Насыщение бетона солями, содержащими хлорид-ионы, может вызвать коррозию стальной арматуры, то есть такие соли агрессивны по отношению к железобетону.

Срок эксплуатации железобетонных шпал обратно пропорционален степени воздействия агрессивной среды в процессе эксплуатации. В связи с этим, одной из значимых характеристик бетона для изготовления шпал является его стойкость к агрессивному воздействию среды. Стоит отметить, что степень подверженности данному воздействию зависит в жидких средах от напора, температуры, концентрации агрессивных, скорости движения поверхностных вод.

Заключение.

Соответствующие результаты по определению предела прочности при сжатии и на растяжение при изгибе были получены на образцах бетона, которые были подвергнуты тепловлажностной обработке по мягкому режиму, а именно при температуре изотермической выдержки, равной 45 °С. Таким образом, дисперсное армирование бетона фибриллированным микроволокном позволяет компенсировать недостатки бетона – образование усадочных трещин, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. В результате сравнительных испытаний установлен различающийся характер разрушения образцов. После испытаний на сжатие от контрольных образцов без микроволокна легко отделялись фрагменты бетона. Дисперсно-армированный бетон после потери прочности при сжатии не разрушался и сохранил целостность образцов даже при попытке многократного нагружения. Наиболее приемлемым расходом микроволокна для исследованного бетона является 0,9 кг/м³.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Магдеев У.Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры // Асадеміа. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 107–111.*
2. *Клюев А.В. Сталефибробетон для сборно-монолитного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 60–63.*
3. *Лукашев Д.В., Смирнова О.М. К вопросу о деформационно-упрочненных цементных композитах // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 410–412.*
4. *Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Опыт применения стеклофибробетона для реставрации декорированного подвесного потолка станции метрополитена // Материалы семинара «Проблемы реставрации и обеспечения сохранности памятников культуры и истории». 2012. С. 18–27.*
5. *Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Сычугов С.В., Первушин Г.Н. Повышение коррозионной стойкости базальтового волокна в цементных бетонах // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 27–31.*
6. *Патент RU 2548303. Высокопрочный легкий фибробетон / Иноземцев А.С., Королев Е.В. Оpubл. 20.04.2015. Бюл. № 11.*
8. *Патент RU 2528774. Сухая строительная смесь / Васильев С.М., Щедрин Ю.Н., Бударин В.К. Заявл. 19.06.2012. Оpubл. 20.09.2014. Бюл. № 26.*