АННОТАЦИЯ

Самир А.А. Исследование возможности повышения адгезии минеральных фибр к цементному камню– Челябинск: ЮУрГУ, Стр.мат., 2018, 69с., 16 ил., 26 табл.
Библиографический список – 46 наименований.

В дипломной работе исследовано возможности повышения адгезии минеральных фибр к цементному камню. Выявить наиболее перспективные способы повышения прочности сцепления минеральных фибр к цементной матрице.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ....3
1. ФИБРОБЕТОНЫ....3
1.1 Разновидности дисперсной арматуры и особенности ее взаимодействия с цементным камнем....4
1. 2 Влияние видов фибры на свойства фибробетона....6
1. 3 Нормативные требования предъявляемые к фибробетонам....8
1.4 Сырье для получения фибробетонов....12
1.5 Влияние условий твердения на свойства фибробетона....17
Выводы....24
Цель и задачи работы....25
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ....26
2.1 Введение....26
ЦЕЛЬ....26
Основная часть....26
Выводы....28
3. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА АДГЕЗИЮ МИНЕРАЛЬНОЙ ФИБРЫ К ЦЕМЕНТНОМУ КАМНЮ....29
3.1 Влияние упругости фибры по адгезии к цементному камню....33
3.2 Влияние вида поверхности фибры на адгезию к цементному камню..45
3.3 Влияние наличия замасливателя на адгезию фибры к цементному камню....59
Выводы....62
ЛИТЕРАТУРЫ....64

ВВЕДЕНИЕ

Все большее применение в строительстве находят фибробетоны, обладающие улучшенными прочностными и деформативными характеристиками. При этом, в качестве дисперсной арматуры применяют различные по составу и происхождению, геометрическим характеристикам и физико-механическим свойствам волокна. Каждый вид волокна обладает своими преимуществами и недостатками. Так, введение в бетон стальных фибр обеспечивает значительное повышение его прочности, увеличивает с сопротивление термическому воздействию и истиранию, позволяет добиться повышения вязкости разрушения композита.

1. Фибробетоны

Дисперсная арматура является рыхлым материалом в виде совокупности дискретных волокон разного происхождения, типа и размеров, которая предназначена для дисперсного армирования бетонов, в качестве упрочнителя и модификатора структуры композита. При дисперсном армировании, упрочнение бетона с помощью фибры основано на гипотезе о том, что матрица композита передает равномерно распределенным в ней волокнам приложенную нагрузку за счет касательных сил, которые действуют по поверхности раздела фаз. В случае, когда модуль упругости фибры превышает модуль упругости бетонной матрицы, основную долю напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композита прямо пропорциональна их объемному содержанию [3], Под собирательным названием «фибра» подразумеваются волокна из металла, отрезки тонкой стальной проволоки, отходы гвоздевого производства и др., а также волокна из стекла, полимеров (главным образом пропилена) [8].Основы производства фибробетона тесно связаны с получением и других видов бетона, имея при этом определенные особенности. Армирование фиброй не только повышает характеристики бетона, но и снижает затраты на его производство, трудоемкость и т.п. Классы фибробетона варьируются и зависят как от соотношения цемента и фиброволокна, так и от вида фибры и др. Самыми

распространенными являются: стальные и стекловолокна; а так же они являются наиболее прочными. Не менее широко применяются синтетические волокна, уменьшающие стоимость бетона средних классов по прочности. Зачастую фибробетон применяется при необходимости уменьшения веса сооружения, предотвращает возможность появления трещин и их расширения. Фибробетон характеризуется высокой стойкостью к истиранию. Но основным его преимуществом является сопротивление к ударным нагрузкам различной силы [7,8]. Фибробетон применяется обширно и повсеместно для строительства: туннелей, дорог, мостов, промышленных сооружений и т.п. Япония наряду с другими странами применяет фибробетон как основной строительный материал в сейсмоопасных зонах. Благодаря долговечности и высокой износостойкости увеличивается время эксплуатации и безопасность задания, что характеризует собой хорошие экономические показатели. Особенно эффективно проявляют себя факторы и характеристики фибробетона в многоэтажных зданиях в критических условиях, таких как пожары и сейсмическое воздействие. но важно понимать, что фибра не может заменить бержневую арматурных рутков. Его используют в качестве дополнения, заменяя часть арматуры или арматурной сетки волокнами [7].

1.1 Разновидности дисперсной арматуры и особенности ее взаимодействия с цементным камнем.

Существуют разновидности дисперсных армирующих волокон (нитевидные монокристаллы), имеющие очень высокие показатели прочности при разрыве, модуль упругости, высокую устойчивость к различным средам. Однако, производство таких волокон ограничено, даже в промышленно развитых странах. В то же время такие распространенные и освоенные промышленностью волокна, как капроновое или нейлоновое, редко используются в качестве дисперсной арматуры, вследствие низкого значения модуля упругости по сравнению с бетонным камнем. В настоящее время в основном используются три вида армирующих волокон (фибры): в виде коротких отрезков тонкой

стальной проволоки, стеклянные волокна и волокна на основе полипропилена. Эти материалы не являются дефицитными. Они различаются по своим свойствам, поэтому вопрос об их применении в качестве арматуры решается экспериментально в каждом конкретном случае. Чаще других дает получение эффективных результатов применение стальной фибры, которая имеет модуль упругости более 5 раз выше, чем модуль упругости бетона. Прочность волокон стеклянной фибры диаметром 8 – 10 мкм соответствует прочности холоднотянутой высокоуглеродистой проволоке (~2000 МПа), но плотность в ~3,5 раза ниже. Модуль упругости стекловолокнистых материалов ниже, чем у стали, но примерно в три раза превышает модуль упругости бетона. Поэтому армирование бетона стеклянными волокнами является эффективным конструктивным приемом. Полипропиленовое синтетическое волокно, также часто применяемое в качестве дисперсноармирующего компонента бетона, обладает повышенной деформативностью с низким значением модуля упругости. По этой причине полипропиленовые волокна не являются эффективной арматурой в бетоне и применяется как дополнительный конструктивный элемент армирования (в монтажных целях – для предотвращения повреждений при транспортировке и монтаже изделий, а также для повышения хрупкости и износостойкости). Применение асбестовых природных волокон в качестве армирующего материала в фибробетонах, также ограничены из-за трудностей их распушки и малой длины, а также ограниченности природных запасов асбестов высокого качества. Известно использование для повышения физико-механических характеристик углеродных волокон, которые не корродируют в гидратирующемся цементе, способствуют повышению прочности цементного камня при растяжении и модуля упругости. Стоимость углеродных волокон значительно превышает стоимость стальных и стеклянных волокон, поэтому использование их в качестве арматуры фибробетона ограничено[4]. Еще одним видом дисперсной арматуры является базальтовая фибра . Наиболее «узнаваемы» два ее типа: микрофибра и рубленое

волокно[8] .Таким образом, с практической точки зрения наиболее обосновано применение стальных и минеральных (стеклянных, базальтовых) волокон, а также полимерных органических волокон (полипропиленовых), как вспомогательного материала[4].

1. 2 Влияние видов фибры на свойства фибробетона

Наиболее важной характеристикой волокна является ее жесткость, характеризуемая модулем упругости Ef. По величине модуля упругости всю производимую фибру целесообразно классифицировать по двум группам. К первой группе относится высокомодульная фибра с Ef=(70...250)*103 МПа, включающая стальную, и неметаллические виды фибры а также углеродное, арамидное, карбоновое волокна с Ef=(200...700)*103 МПа, вторая группа волокон, обладающая сочетанием высокой жесткости и прочности на растяжение (до 3,5 – 4*103 МПа), значительно более рациональна при использовании в виде изделий с одно или двухнаправленным размещением волокон, а не в качестве хаотично распределенной в объеме фибры. Высокомодульная фибра является одновременно высокопрочной, и она способна обеспечить значительное упрочнение фибробетона по отношению к исходному бетону-матрице при значительном повышении трещиностойкости (по образованию и ширине раскрытия трещин). Фибробетон на основе высокомодульной фибры обеспечивает также повышенную ударную стойкость, морозостойкость, истираемость[6]. Производство стальной фибры основано на резке низкоуглеродистой проволоки, листовой стали или фольги; формовании из расплава, фрезеровании слябов и полос, а также прерывистом вибрационном резании в процессе токарной обработки заготовки. Неметаллические фибры являются отрезками моноволокон, фибриллированных пленок и комплексных нитей, которые, в том числе, могут изготавливаться из промышленных отходов соответствующих производств. Основной задачей при разработке составов и технологии фибробетонов является оптимизация геометрических параметров и

размеров фибр, обеспечивающих надежное сцепление волокон с бетонной матрицей при допускаемых нагрузках, повышение технологичности. еще одна разновидность фибры подобного типа – аморфнометаллическая, которую получают методом закалки расплавленного металла с различными легирующими добавками. Расплав выливается на охлаждаемую подложку и отверждается, не успевая приобрести упорядоченную кристаллическую решетку, образуя отрезки лент определенной длины и толщины[3]. Наибольшую популярность приобрело стальное фиброволокно. В качестве него используются отрезки стальной проволоки, толщиной 0,1 – 0,5 мм и длиной от 1 до 5 см. Для фибрового армирования стеклофибробетонных конструкций принимается фибра в виде отрезков стекловолокна, как правило, длиной от 10 мм до 60 мм, изготавливаемая путем рубки: ровинга из щелочестойкого (цементостойкого) стекловолокна, выпускаемого по ТУ 21-38-233-92; ровинга из алюмоборосиликатного (нещелочестойкого) стекловолокна по ГОСТ 17139, Длина фибры принимается в зависимости от размеров и армирования конструкций, вида технологического оборудования по приготовлению и укладке стеклофибробетонной смеси. Для армирования мелкозернистого бетона на ПЦ используется фибра из щелочестойкого стекловолокна. Фибра из нещелочестойкого (алюмоборосиликатного) стекловолокна может использоваться в случаях армирования бетона (матрицы) на основе глиноземистого цемента, портландцемента с добавкой гипса или микрокремнезема на ограниченный срок службы при соответствующем обосновании. Вторая по жесткости группа – низкомодульная фибра производится на полимерной основе. Она имеет модуль упругости (2...10)*103 МПа, что ниже по жесткости фибры первой группы примерно на два десятичных порядка. Эта фибра оказывает минимальное позитивное влияние на статическую прочность, но обеспечивает в значительной мере снижение усадочного растрескивания, снижает усадку, повышает ударную вязкость и морозостойкость

бетона, в частности неавтоклавного пенобетона, обеспечивает водоудерживающую способность бетонной смеси[6].

1. 3 Нормативные требования предъявляемые к фибробетонам

За основу при подборе состава фибробетоно следует принимать определяющий для данного вида бетона и назначения конструкции показатель бетона. При этом должны быть обеспечены и другие установленные проектом показатели качества бетона. Проектирование и подбор состава бетонной смеси по требуемой прочности бетона следует производить, руководствуясь ГОСТ 27006, ГОСТ 26633 и СНиП 82-02, с необходимой корректировкой состава по результатам испытаний фибробетоно смеси и фибробетоно. При подборе состава бетонной смеси должны быть обеспечены требуемые показатели качества (удобоукладываемость, сохраняемость, нерасслаиваемость, воздухосодержание и другие показатели). Свойства подобранной фибробетоно смеси должны соответствовать технологии производства бетонных работ, включающей сроки и условия твердения бетона, способы, режимы приготовления и транспортирования бетонной смеси и другие особенности технологического процесса. Для подбора состава фибронабрызгбетона (ФНБ) используется аналогичная методология, что и при подборе состава фибробетонов, укладываемых другими способами, при этом учитываются особенности процесса набрызга, требования к подвижности смеси, типу смеси, применяемому оборудованию. Основные различия между обычным фибробетоном и фибронабрызгбетоном состоят в гранулометрическом составе заполнителей, размерах и типе применяемой фибры, содержании цементирующих веществ, методе подачи и нанесении, а также в выборе химических добавок.

При составлении рецептуры смеси, в частности, среди прочих необходимо учитывать следующие факторы:

– способность к распылению – смесь должна наноситься и уклады-ваться для конкретной конструкции с минимальным отскоком. Она может наноситься на горизонтальные, вертикальные или потолочные поверхности;

– прочность – смесь должна удовлетворять требованиям быстрого схватывания, набора прочности и длительной прочности, в зависимости от назначения конструкции. Необходимо учитывать влияние добавок на длительную прочность набрызгбетона;

– уплотнение – смесь должна быть способна уплотняться во время на брызга с образованием плотного, однородного материала. Технологические процессы изготовления однородной фибробетоно смеси зави-сят от вида и количества фибровой арматуры (фибры), ее геометрических пара-метров (особенно отношения длины к диаметру), объема цементного теста в составе бетона-матрицы, заданных параметров удобоукладываемости, максималь-ного размера крупного заполнителя, последовательности ввода компонентов, способа подачи фибры в смеситель, типа используемого смесителя и режима перемешивания фибробетона смеси.

Таблица 1.1.2 – Максимальное содержание стальной фибры с отношением[2] .

Максимальный размер заполнителя, мм	Максимальное содержание фибры, кг/м^3, при укладке	
	бадьей	насосом
8	140	120
16	100	75
32	80	60

методы и оборудование для производства фибробетонных конструкций, при которых реализуется задача максимального использования прочностных свойств фибры и бетона матрицы с целью достижения наибольшей прочности, плотности и долговечности материала и конструкций при наименьших трудозатратах и материалоемкости. В производстве фибробетонных конструкций предпочтение

следует отдавать тем видам материалов и оборудования, которые позволяют повысить степень механизации и автоматизации технологии в заводских или построечных условиях. Настоящими нормами производства фибробетонных конструкций предусматриваются следующие виды технологий Гост 26633-91, СП 52-104-2006, определяемые по названию основного технологического приема:

– набрызг ("спрей");

– предварительное перемешивание ("премиксинг") с последующим формованием смеси, осуществляемым виброуплотнением, радиальным роликовым формованием, роликовым прессованием, экструзией или иными апробированными методами.

В случае использования для изготовления сталефибробетона крупного заполнителя, бетон-матрица должен отвечать требованиям ГОСТ 26633. Кроме того, бетонматрица должен отвечать специальным требованиям проектной документации на конструкцию в части максимальных или минимальных размеров крупного и мелкого заполнителя, а также вида применяемого вяжущего и химических добавок.

В качестве вяжущего для фибробетонов применяются различные виды цементов. Назначение конкретного вида цемента связано с видом используемой фибры, достижением наиболее рационального ее использования в фибробетоне и обеспечением максимальной прочности и долговечности фибробетонных конструкций.

Использование химических добавок в составе фибробетонных смесей рекомендуется для достижения определенных значений подвижности и удобоукладываемости смеси исходя из требований конкретного вида технологии. Выбор и применение химических добавок в бетон выполняется в соответствии с ГОСТ 24211 . Заполнители для фибробетона (крупный, мелкий) принимаются с учетом вида и агрегатного состояния фибры, назначения и размеров конструкции, класса и марки бетона,

Допускается применение других видов стальной фибры, не указанных, при соответствующем обосновании и согласовании в установленном порядке с головной организацией (НИИЖБ).

Стеклофибробетонные конструкции с фибровым или комбинированным, армированием должны удовлетворять требованиям по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы) согласно СТ СЭВ 1406.

Проектирование конструкций выполняется по методике, аналогичной методике проектирования армоцеметных и сталефибробетонных конструкций с учетом прочностных и деформативных характеристик стеклофибробетона.

Синтетическая фибра, имеющая ограниченный опыт применения, должна отвечать требованиям соответствующих технических условий и стандартов ГОСТ 14613–83 , которые приводятся в проектной документации на конструкцию или (и) в Технологических регламентах на их изготовление.

Стержневая и проволочная арматура, используемая при комбинированном армировании, назначается с учетом типа конструкций, наличия предварительного напряжения, условий возведения и эксплуатации конструкций. Стержневая, проволочная арматура и сталь для закладных деталей принимаются по соответствующим указаниям СНиП 2.03.01,

Настоящие нормы распространяются на технологии и методы изготовления фибробетонных конструкций на основе тяжелого (обычного), мелкозернистого (песчаного) бетонов и следующих видов фибры:

– стальной;

– из щелочестойкого стекловолокна;

– из обычного (алюмоборосиликатного) стекловолокна;

– из синтетических волокон[11].

Отдельного стандарта на фибробетон нет, в соответствии с СП 52-104-2006 он должен отвечать требованиям ГОСТ 26633-91[24].

1.4 Сырье для получения фибробетонов

В качестве фибр могут использоваться любые материалы, однако чаще всего для этой цели применяются стальные, стеклянные, углеродистые, пластмассовые и др. Количество вводимых в бетон волокон в большинстве случаев колеблется от 0,3 до 2% по объему. Размеры их могут быть самыми разнообразными. Стальные волокна применяются обычно длиной от 1 до 70 мм и диаметром от 0,25 до 1 мм. Поперечное сечение волокон может иметь круглую или прямоугольную форму. Чаще всего волокна как стальные, так и неметаллические применяются длиной от 25 до 60 мм. Длина фибры принимается в зависимости от размеров и армирования конструкций, вида технологического оборудования по приготовлению и укладке фибробетонной смеси. Для армирования мелкозернистого бетона на портландцементе используется фибра из щелочестойкого волокна. Фибра из нещелочестойкого волокна может использоваться в случаях армирования бетона (матрицы) на основе глиноземистого цемента, портландцемента с добавкой гипса или микрокремнезема на ограниченный срок службы при соответствующем обосновании. Использование фибры из нещелочестойкого волокна для армирования фибробетона на портландцементе допускается в качестве фибровой арматуры, рассчитываемой на восприятие технологических нагрузок при работе бетона конструкций в раннем возрасте в срок до одного месяца.

Допускается применение для фибрового армирования капроновых, нейлоновых, полипропиленовых высокомодульных волокон при соответствующем технико – экономическом и экспериментальном обосновании в установленном порядке. Стеклянные и органические волокна могут иметь весьма малый диаметр, измеряемый десятками микрон, поэтому их расход по массе сухой смеси обычно почти на порядок меньше, чем при применении стальных волокон. Металлические волокна, применяемые в настоящее время для фибрового армирования, имеют с матрицей только физическую или физико –

механическую связь, если на их поверхности имеются неровности. Химического взаимодействия между материалами стальных фибр и матрицы не наблюдается; это относится также и ко многим полимерным волокнам (полипропилен, нейлон и др.). Стеклянное волокно или какоелибо другое, содержащее его включения, имеет несколько другую связь с матрицей, т.к. наблюдаются явления взаимодействия этих материалов и химические изменения на молекулярном уровне в процессе выдерживания бетона до достижения требуемой прочности[2].

Выбор компонентов для бетона следует производить в соответствии с требованиями существующих нормативных документов на каждый компонент с целью получения бетона в конструкциях с прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью и другими показателями качества, соответствующими проектным, и при минимальном расходе цемента.

Выбор материалов, проектирование состава и приготовление фибробетонной смеси должен осуществляться в соответствии с рекомендациямиСТО НОСТТРОЙ 2013 [2]и положениями:

– ВСН 48 [9] при возведении монолитных обделок;

– СНиП 3.09.01 при производстве сборных изделий и элементов конструкций;

– ВСН 126 [10] при сооружении фибронабрызгбетонных обделок.

Бетон должен иметь водопоглощение не более 8 % по массе. В случае использования для изготовления сталефибробетона крупного заполнителя, бетон-матрица должен отвечать требованиям ГОСТ 26633 и пп. 2.1-2.6 рекомендаций ВСН 56-97. Кроме того, бетон-матрица должен отвечать специальным требованиям проектной документации на конструкцию в части максимальных или минимальных размеров крупного и мелкого заполнителя, а также вида, применяемого вяжущего и химических добавок.

Мелкозернистый бетон для фибробетонных конструкций в зависимости от вида и условий их работы предусматривается следующих классов и марок:

а) классов по прочности на сжатие:

– бетон группы А (естественного твердения или подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении, на песке с модулем крупности свыше 2,0 но не более 2,5) – В20, В25, В30, В35, В40;

– бетон группы Б (естественного твердения или подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении, на песке с модулем крупности 2,0 1,5)– В20, В25, В30 и В35.

Допускается применение бетона промежуточных классов В22,5 и В27,5 при условии, что это приводит к экономии цемента по сравнению с применением бетона соответственно классов В25 и В30 и не снижает других технико-экономических показателей конструкций.

б) классов по прочности на осевое растяжение – Bt 1.6; Bt 2; Bt 2.4;Bt 2.8; Bt 3.2; Bt 3.6; Bt 4;

в) марок по морозостойкости – F50; F75; F100; F150; F200;F250;F300;F400; F500;

г) марок по водонепроницаемости – W4; W6; W8; W10; W12.

В качестве вяжущих для приготовления мелкозернистого бетона фибробетонных конструкций следует применять портландцемент по ГОСТ 10178, глиноземистый цемент по ГОСТ 969 марок не ниже М400, а также добавки микрокремнезема по ТУ 7-249533; ТУ 7-249533-02; ТУ 2-249533-03 или вяжущее низкой водопотребности (ВНВ) по ТУ 21-26-20.

Назначение конкретного вида цемента связано с видом используемой фибры, достижением наиболее рационального ее использования в фибробетоне и обеспечением максимальной прочности и долговечности фибробетонных конструкций.

Вяжущее для фибробетона выбирается в соответствии с требованиями 1 части норм ВСН 56-97, цемент для сталефибробетона – согласно указаниям(п.п. 6.1-6.5) ВСН 56-97. Для фибробетонов на синтетической фибре вяжущие выбираются опытным путем и обосновываются в соответствующем порядке [11].

Тип и марка цемента должен выбираться с учетом:

– технологии производства работ (в том числе учета времени от моментаприготовления до укладки в конструкцию, способа укладки (пневмонанесение с затворением сухой смеси на выходе из сопла, насосом, укладка бадьей);

– вида конструкций (армированная полимерной конструкционной фиброй, обычной стальной или коррозионностойкой фиброй, металлической стержневой или неметаллической);

– экзотермии в процессе твердения;

– условий твердения (в частности тепловой обработки);

– размеров конструкции;

– климатических характеристик;

– назначения сооружения;

– агрессивности среды эксплуатации;

– щелочно-реакционной способности заполнителя.

Для набрызгбетонов рекомендуется использовать цементы ПЦ500Д0 судельной поверхностью не менее 3000см2/г для обеспечения требуемой кинетикинабора прочности, в том числе и раннем возраст. Для приготовления бетонных смесей для сборных и монолитных конструкцийследует применять бездобавочный портландцемент и портландцемент сминеральными добавками по ГОСТ 31108 [12], ГОСТ 10178 [13], ГОСТ 969 [14],ГОСТ 22266 [5].

При агрессивных воздействиях на бетонные и железобетонные конструкциив процессе эксплуатации портландцемент выбирают в соответствии соСНиП 2.03.11, СП28.13330.2012 [2].

Заполнители для фибробетона (крупный, мелкий) принимаются с учетом вида и агрегатного состояния фибры, назначения и размеров конструкции, класса и марки бетона, типа используемой технологии и должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов, а также норм ВСН 56-97 [11]. При выборе заполнителей предпочтение следует отдавать материалам из местного сырья.

В качестве плотного мелкого заполнителя используется песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736 [15].

В качестве плотного крупного заполнителя применяется щебень и гравий по ГОСТ 8267 [16]. Морозостойкость крупных заполнителей должна быть не ниже нормированной марки бетона по морозостойкости.

Марки по прочности крупных плотных заполнителей, определяемые по дробимости при сжатии в цилиндре, должны быть выше класса бетона по прочности на сжатие не менее чем в 2 раза для В15 и выше.

Максимальный размер зерен крупного заполнителя для монолитных и сборных ФБ конструкций 20 мм, для ФНБ следует ограничить 15мм. Зерен наибольшего размера лещадной и игловатой форм должно быть не более 15% по массе.

Для повышения прочностных характеристик фибробетона, увеличения сил сцепления фибры с бетоном, рекомендуется использовать микро- и ультрадисперсные минеральные добавки в виде порошка:

– микрокремнеземконденсированный по ТУ 5743-048-02495332 или водной суспензии;

– кварц молотый пылевидный по ГОСТ 9077 [17].

Для снижения расхода цемента и заполнителей при приготовлении бетонныхсмесей рекомендуется использовать золы-уносы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС, отвечающие требованиям ГОСТ 25592 [10], ГОСТ 25818 [11] и ГОСТ 26644 [12].

Для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и бетона, снижения расхода цемента и энергетических затрат следует применять химические добавки, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 24211 [13].

В качестве добавок стабилизаторов бетонной смеси (высокоподвижных и укладываемых пневмонабрызгом), а также добавок снижающих температурновлажностную усадку на стадии схватывания и твердения, рекомендуется применять микрофибру МПФ (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Рекомендуемые расходы добавки микро фибры(полипропиленовой) в бетонных смесях

Область применения микрофибры (МПФ)	Рекомендуемая дозировка, кг/м^3
Для улучшения характеристик фибробетона в раннем возрасте (противоусадочная фибра)	0,5…1,0
Для связывания смеси при набрызгбетонировании (снижение отскока)	0,5…1,0
Для повышения устойчивости фибробетонных покрытий (обделок) к огневому воздействию	1,0…2,0

Бетонные смеси марок по удобоукладываемости П3-П5 для производства сборных железобетонных конструкций и изделий, и марок по удобоукладываемости П4 и П5 для монолитных и сборно-монолитных конструкций должны приготовляться с обязательным применением пластифицирующих добавок[21].

Вода для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732[14].

1.5 Влияние условий твердения на свойства фибробетона

Были проведены исследования влияния различных технологических факторов на темпы набора и конечную прочность фибробетона нормального хранения, а также влияние температуры на кинетику твердения и величину конечной прочности фибробетона.

В результате проведенных исследований установлено, что прочность сталефибробетона в 28-ми суточном возрасте нормального хранения (табл. 1.2.2.1)

прямо пропорционально возрастает с увеличением процента содержания волокон в бетоне, уменьшается с увеличением водоцементного отношения смеси и находится в прямой зависимости от модуля поверхности фибры.

Прочность сталефибробетона исследуемых составов

Серия	Прочность на сжатие R, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R_{tf}, МПа	Прочность на растяжение при раскалывании R_{tl}, МПа
2	28,80	4,65	2,47
3	25,40	2,93	1,98
4	27,25	4,17	2,12
5	30,00	5,19	3,29
7	27,80	4,10	2,17
8	34,70	4,61	2,53
9	28,30	4,22	2,24
10	27,90	4,17	2,15

Таблица(1.2.2.1)

Результаты исследований кинетики твердения сталефибробетона показали, что с увеличением процента армирования смеси темпы набора прочности увеличиваются, максимальный разброс значений прочности в зависимости от процента армирования смеси и периода набора прочности составляет порядка 13%. С увеличением температуры выдерживания фибробетона влияние наличия стальной фибры ослабляется, при температуре 80ºС разброс значений прочности сокращается, но тенденция к увеличению темпов набора прочности с увеличением процента армирования смеси при повышении температуры сохраняется (рис. 1.2.2.1).

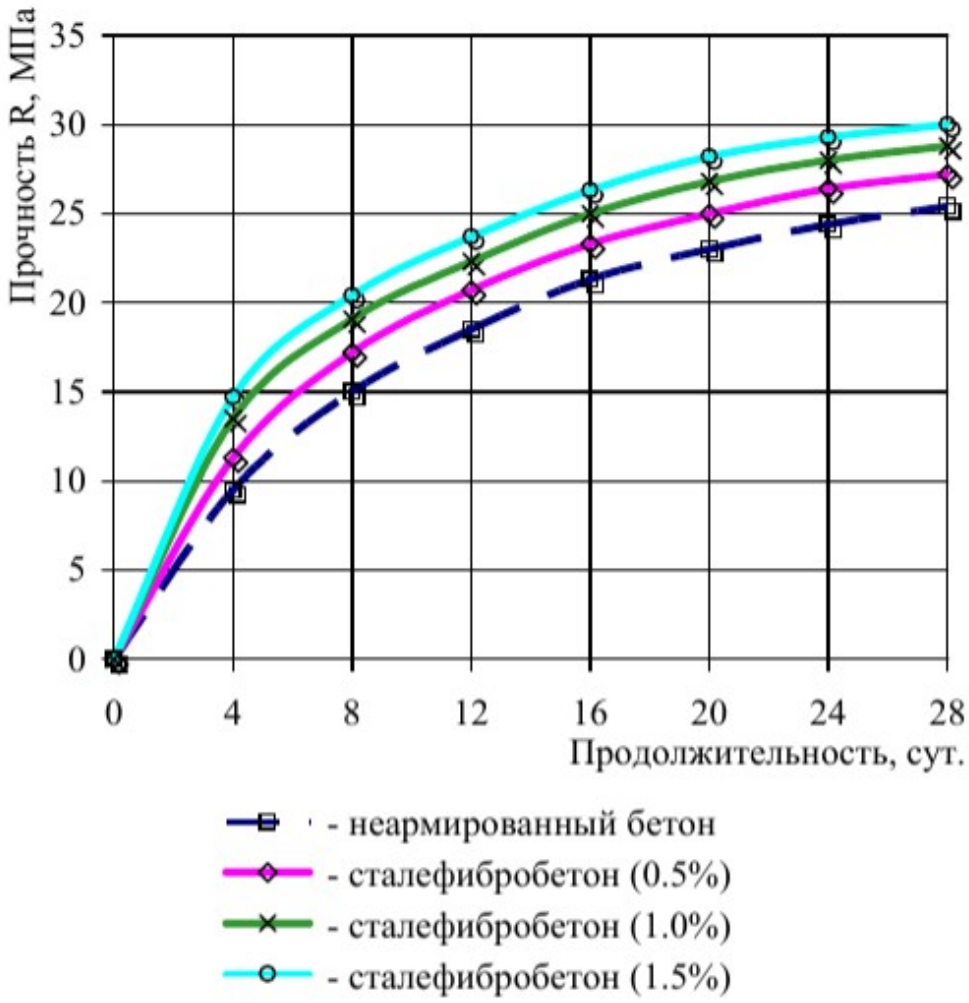


Рис. 1.2.2.1 Рост прочности сталефибробетона при температуре 20º С.

Увеличение температуры выдерживания фибробетона позволяет сократить время набора марочной прочности. Однако при тепловой обработке физико-химические процессы структурообразования, несомненно играющие ведущую роль в создании прочного искусственного камня сопровождаются еще чисто физическими явлениями, оказывающими иногда более значительное влияние на прочность бетона. Температурные расширения составляющих в бетоне при его тепловой обработке, возникновение и развитие остаточных деформаций, перераспределение влаги и неравномерное ее накопление, а также возникающие температурные градиенты – все это создает в нем сложное напряженное состояние и наносит существенный ущерб формирующейся структуре материала, нарушая ее плотность. Дефекты структуры и пониженная плотность

являются основными причинами недобора конечной прочности бетона и ухудшения других физико-механических свойств бетонов, подвергавшихся термообработке, по сравнению с бетонами нормального твердения (рис. 1.2.2.2).

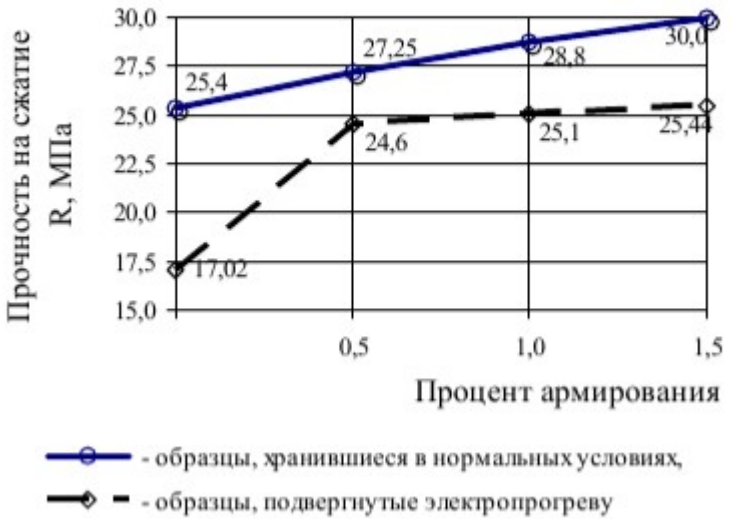
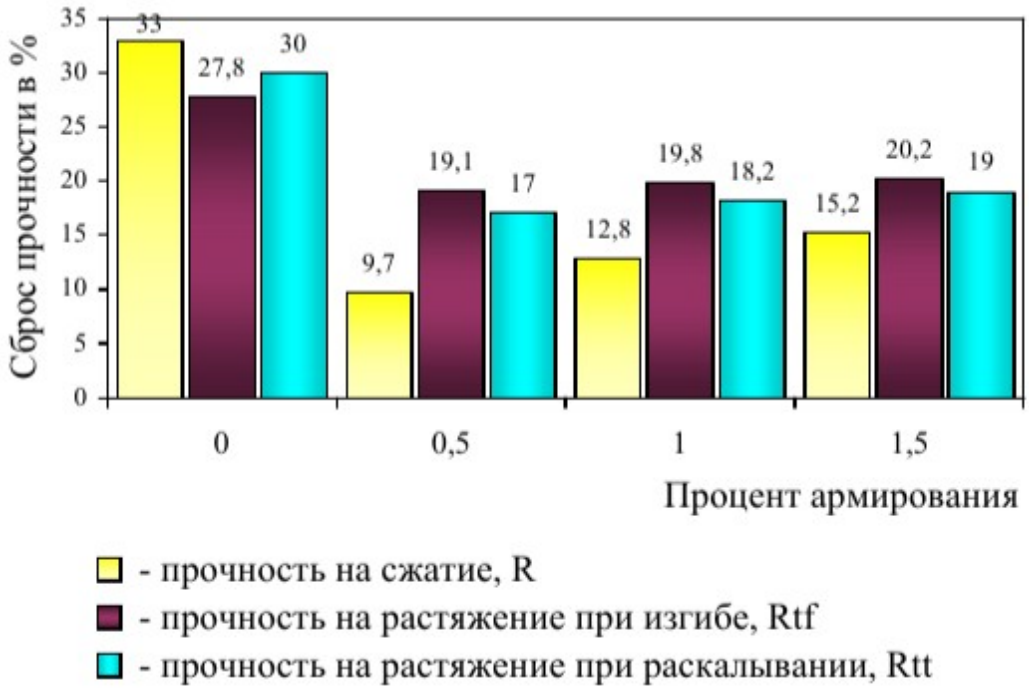


Рис.(1.2.2.2) Зависимость конечной прочности от процента армирования.

Результаты экспериментов выявили, что у фибробетона, подвергнутого тепловой обработке, наблюдается потеря прочности в возрасте 28 суток (рис. 1.2.2.3). Однако недобор прочностных показателей фибробетоном на сжатие в 2 – 2,5 раза меньше, на растяжение в среднем в 1,5 раза меньше, чем для бетонов, неармированных фиброй, что можно объяснить перераспределением температурных напряжений за счет наличия фибры.



Рис(1.2.2.3) Процент сброса прочности бетона при электропрогреве.

Как известно тепловое воздействие на бетон осуществляется в достаточно широком интервале температур от 30º С при использовании термоэлектрических матов до 140º С при автоклавной обработке легких бетонов. Для определения влияния температур на конечную прочность фибробетона был проведен эксперимент по электропрогреву образцов из сталефибробетона при различных температурах. Образцы прогревались в комбинированных формах в течение суток при температурах выдерживания 20, 40, 60 и 80ºС, а в дальнейшем помещались в камеру нормального хранения и испытывались после 28 суток твердения. процессы, приводящие к потере прочности при электротермообработке, наиболее интенсивно протекают при температуре свыше 50ºС , а невысокие положительные температуры благоприятно сказываются на процессах роста прочности. Это положение подтверждается

повышенными на 13% значениями прочностей сталефибробетона, выдержанного при температурах 35…45ºС , по сравнению с бетоном нормального хранения (рис. 1.2.2.4). Однако более мягкие режимы требуют более длительного выдерживания, что осуществимо для сталефибробетона,

поскольку характер изменения его удельного электрического сопротивления позволяет выполнять прогрев длительное время.

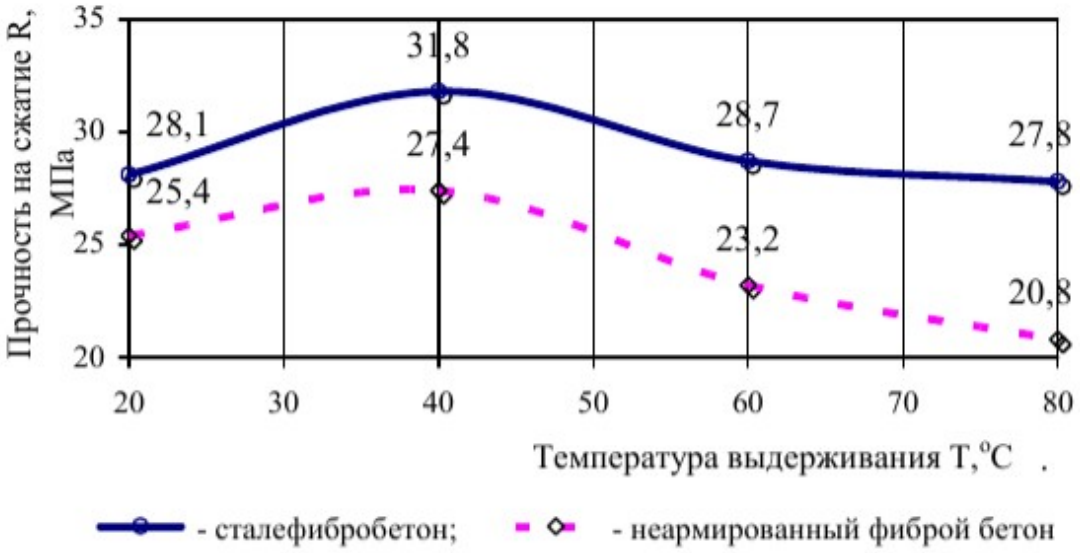


Рис. (1.2.2.4) Влияние температур электропрогрева на конечную прочность бетона

Полученные результаты проведенных исследований дали возможность представить формулу для расчета прочностных характеристик сталефибробетона на этапе проектирования. За основу была принята известная зависимость, которая дает относительно точные результаты в широком интервале прочности бетона и может быть использована при положительных и отрицательных температурах выдерживания:

$$R = R_{28} - Ae^{-B\left[(0,6+0,02t)^{n}-C\right]\cdot\tau}, \quad (1.1)$$

где R – относительная прочность бетона, % от R_{28} ;
R_{28} – относительная прочность бетона нормального хранения в возрасте 28 сут., то есть 100%;
A – коэффициент начальной прочности бетона;
B – коэффициент темпа твердения;
C – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости твердения при отрицательных температурах;
n – показатель степени;
t – средняя температура за период выдерживания;
τ – продолжительность соответствующего периода.

Коэффициенты в формуле определяются в зависимости от прочности бетона в возрасте 3 суток и скорректированы для фибробетона добавлением коэффициента влияния процента армирования смеси :

$$B = 7{,}3 /(100 - R_3 K\mu),$$
$$A = 292/\sqrt[3]{R_3}\, K\mu,$$
$$n = 1{,}4 + 50 / R_3 K\mu,$$
$$C = 0{,}054 + 1{,}33/(100 - R_3 K\mu),$$
$$K\mu = 0{,}1212\mu^4 - 0{,}9436\mu^3 + 1{,}2492\mu^2 - 0{,}1637\mu + 1,$$

где R_3 – относительная прочность бетона в возрасте 3 суток;
$K\mu$ – коэффициент зависящий от процента армирования смеси.
μ – процент армирования сталефибробетона.

Для проверки полученных формул необходимо было сначала рассмотреть закономерности формирования температурных полей в фибробетонных конструкциях на всех этапах выдерживания.

Наличие фибры приводит к более интенсивным изменениям в процессах перераспределения температур. Сокращается продолжительность нагрева определенного объема фибробетона, по сравнению с бетоном, неармированным фиброй, при прочих равных условиях. Так, для нагрева кубической конструкции из обычного бетона до 80оС потребовалось 5 часов при напряжении 100В, а для аналогичной конструкции выполненной из сталефибробетона – 2,5 часа при напряжении 75В. Электропрогрев может стать эффективным методом интенсификации твердения фибробетона, позволяющим сократить продолжительность технологических процессов выдерживания при обеспечении требуемого качества. Осуществление электропрогрева идентичных конструкций из бетона , армированного фиброй и без нее показало, что вдвое сокращается время необходимое на повышение температуры фибробетона и на 10…15 % продолжительность остывания таких конструкций, т.к. темп остывания фибробетона выше. Кроме того время выдерживания конструкций из фибробетона возможно сократить ранней распалубкой и увеличивая при этом

оборачиваемость опалубки. Так СНиП регламентирует перепад температур наружного воздуха и наружных слоев конструкции при распалубке. Эта разность назначается с учетом возникновения в бетоне растягивающих температурных напряжений и способности бетона противостоять им, но ведь прочность фибробетона на растяжение в среднем на 60 % больше прочности бетона без фибры.

Исходя из таких предпосылок можно говорить, что увеличение перепада температур не приведет к нарушению структуры бетона. выявленное пониженное удельное электросопротивление фибробетона, которое позволяет производить прогрев конструкций при пониженных напряжениях, а самое главное более продолжительное время. Время прогрева образцов из сталефибробетона может быть назначено от 1 до 15 суток. Кроме того при введении стальной фибры качество бетона повышается, за счет равномерности прогрева и остывания. Поэтому следует искусственно вводить в обычный бетон небольшой процент стальных волокон для устранения недостатков электропрогрева и повышения качества бетонных конструкций[23].

Выводы

- Технологические процессы изготовления однородной фибробетоно смеси зависят от вида и количества фибровой арматуры (фибры), ее геометрических пара-метров (особенно отношения длины к диаметру), объема цементного теста в составе бетона-матрицы, заданных параметров удобоукладываемости, максималь-ного размера крупного заполнителя, последовательности ввода компонентов, способа подачи фибры в смеситель, типа используемого смесителя и режима перемешивания фибробетона смеси.
- когда модуль упругости фибры превышает модуль упругости бетонной матрицы, основную долю напряжений воспринимают волокна, а общая

прочность композита прямо пропорциональна их объемному содержанию.

- фибробетон применяется при необходимости уменьшения веса сооружения, предотвращает возможность появления трещин и их расширения. Фибробетон характеризуется высокой стойкостью к истиранию. Но основным его преимуществом является сопротивление к ударным нагрузкам различной силы.
- Количество вводимых в бетон волокон в большинстве случаев колеблется от 0,3 до 2% по объему. Размеры их могут быть самыми разнообразными. Стальные волокна применяются обычно длиной от 1 до 70 мм и диаметром от 0,25 до 1 мм.
- Наличие фибры приводит к более интенсивным изменениям в процессах перераспределения температур. Сокращается продолжительность нагрева определенного объема фибробетона, по сравнению с бетоном, неармированным фиброй, при прочих равных условиях.

Цель и задачи работы

Цель: Изучить мировой опыт производства фибробетонов. Выявить наиболее перспективные способы повышения прочности сцепления минеральных фибр к цементной матрице.

Задачи работы :

1. Выбор эффективного типа фибры;
2. Выбор оптимальной дозировки и диаметра фибры;
3. Определение модуля упругости волокон;
4. Способы дальнейшего повышения прочности фибробетона;

2. Исследование свойств мелкозернистых бетонов с различными видами дисперсного армирования

2.1 Введение

Бетон, являющийся самым распространенным строительным материалом, имеет ряд существенных недостатков. К ним в первую очередь относится невысокая прочность на растяжение, которая в 8 – 10 раз ниже прочности на сжатие. Арматура, устанавливаемая для улучшения работы бетона в растянутой зоне конструкции, требует устройства надлежащего защитного слоя во избежание ее корродирования. В тонкостенных конструкциях это становится довольно сложной задачей, решение которой требует особой тщательности и аккуратности при производстве работ. Повысить прочность бетона на растяжение можно путем введения в него различного рода фибр из стали, стекла, базальта или пластмасс. Как показывают исследования, прочность на растяжение цементного камня с фибровой арматурой (фиброцемент) повышается в 3 раза. Но если фибровая арматура вводится в бетонную смесь, то прочность на растяжение повышается всего на 20 – 30%, т.к. в бетоне, как в любом многокомпонентном материале, большое влияние на прочностные показатели оказывает монолитность системы. Фибровое армирование бетона представляет интерес не только с точки зрения улучшения работы материала на растяжение, но также и существенного повышения его сопротивляемости ударным нагрузкам, истиранию, трещинообразованию.

ЦЕЛЬ

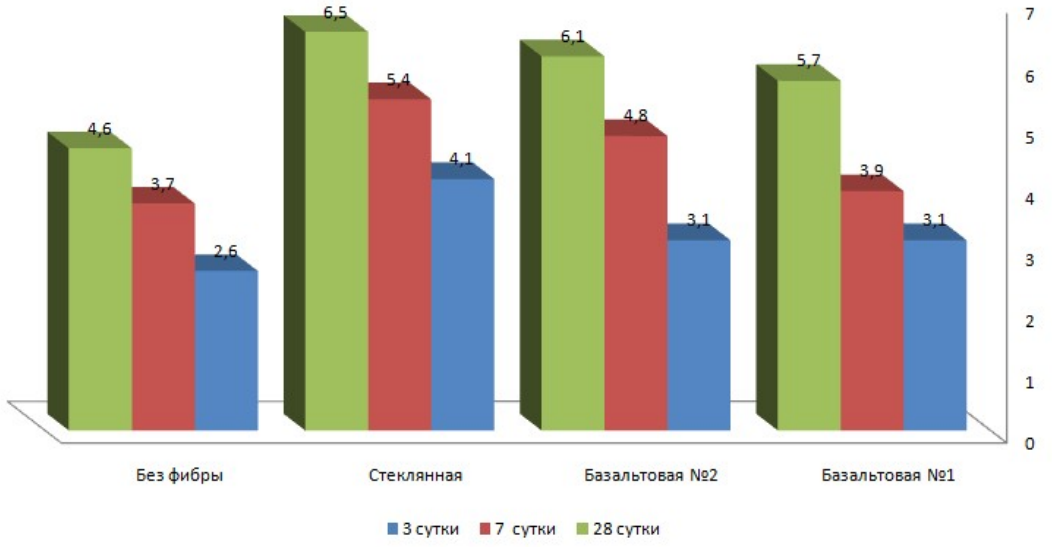
Задачей научных исследований является разработка оптимального состава фибробетонной смеси с улучшенными физико – механическими свойствами, такими как прочность на сжатие и растяжение.

Основная часть

В ходе исследований изучалось влияние прочностные характеристики фибробетонов введения в состав смеси базальтовых фибр и стекловолокно, В качестве постоянных параметров принято соотношение цемента и песка равное 1:2. Проведено исследование зависимости прочности от вид – фибры. результаты приведены в сводной таблице(2:1), изгиба и сжатия .

	Предел прочности при сжатии мпа			Предел прочности при изгибе мпа		
	3 сутки	7 сутки	28 сутки	3 сутки	7 сутки	28 сутки
Базальтовая №1	11.9	9.9	19	3.1	3.9	5.7
Базальтовая №2	13.2	16.7	19.25	3.1	4.8	6.1
Стеклянная	13.6	17.0	18.67	4.1	5.4	6.5
Без фибры	11.4	8.3	15.12	2.6	3.7	4.6

Сводная таблица(2:1)



Рис(2.1 .1)

По результатам видно , что введение фибры повышает прочность при изгибе на 5 – 45% . более эффективно повышается прочность при использовании стеклянной фибры.



Рис.(2.1.2) после испытания в 28 суток

Выводы

Одним из известных эффективных способов повышения качественных свойств бетона является его дисперсное армирование различными видами волокнистых материалов. Дисперсное армирование формирует в бетоне трёхмерную силовую структуру, которая противодействует растягивающим усилиям, возникающих в бетоне как при механическом воздействии, так и при усадке бетона в процессе твердения. Фибробетон должен отвечать требованиям к обеспечению равномерности распределения волокон по объёму бетонной смеси: наличие сгустков нераспределённых волокон обеспечивают неоднородность свойств материала и, как следствие, снижение прочности. При проектировании состава фибробетоной смеси особое внимание следует уделить количеству вводимой в бетонную смесь фибры: недостаток волокон, как и его избыток, оказывают отрицательный эффект при достижении задаваемых при проектировании свойств фибробетона. Также важную роль играет

эффективность выбора материала фибровых волокон для обеспечения его химической, физической и температурной совместимости с бетоном. Как показывают результаты Стеклянное волокно имеет высокий модуль упругости такое свойство добавляет бетону пластичности.

3. Основные факторы влияющие на адгезию минеральной фибры к цементному камню

Чаще всего разрушение фибробетона происходит за счет вытягивания волокон из бетона в результате нарушения связи на границе раздела волокно – матрица, и, таким образом, за счет повышения прочности сцепления фибры с матрицей можно добиться максимального использования прочностных свойств самого волокна, вплоть до его разрыва в момент разрушения композита. Сцепление фибры с бетонной матрицей композита является результатом комбинированного проявления адгезии, трения и механического зацепления в зоне их контакта с цементным камнем. Влияние каждого из этих факторов на анкеровку волокон в матрице может быть различным и зависит от состава, структуры и свойств цементного камня, а также от материала фибр, их формы и размеров [25, 26]. Таким образом, основным механизмом увеличения прочности дисперсно-армированного бетона является увеличение прочности сцепления армирующего волокна с бетонной матрицей композита.

В то же время некоторыми авторами [44] отмечается резкое снижение эффективности влияния дисперсного армирования на прочность бетона при диаметре фибр от 0,6 мм и выше. Причиной такого эффекта являются, адгезионные свойства цементного камня с материалом заполнителя, а также соотношение между пористостью бетона и конструктивными размерами фибр и их размещением.

При осуществлении в этой системе графических построений диаметров фибр выявлено следующее:

– фибры диаметром до 0,4 мм при размещении по объему практически не контактируют с порами или контактируют не более чем в рассматриваемом сечении;

– размещение фибр диаметром от 0,5 до 0,8 мм вызывает контакт с 3 – 5 порами диаметром до 0,3 мм и одной диаметром до 0,5 мм;

– при увеличении диаметра фибры свыше 1,0 мм контакт поверхности фибры осуществляется уже с 5 порами диаметром до 0,3 мм и 3 – 4 диаметром 0,5 мм.

Расчеты показывают, что в первом случае доля потерь контактной поверхности фибры составляе до 3 %, во втором – до 20 %, а далее не превышает 27 % при увеличении диаметра анкерного элемента (рис.3.1).

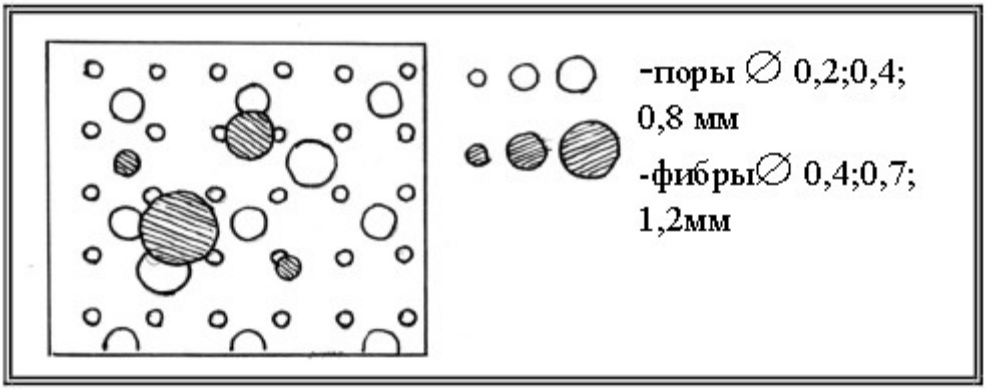


Рис. 3.1. Размещение металлических фибр относительно пор Бетона

Эффективной принято считать длину анкерования (*la*) при условии, когда прочность закрепления фибры равна пределу прочности материала самой фибры:

$la = lф\ \pi rф\ \delta = \pi\ rф2\ \delta np$

$lф\ \delta = rф\ \delta np$

$kэ = lф/rф = \delta np/\ \delta$

$$l_a = l_ф \, \pi \, r_ф \, \delta = \pi \, r_ф^2 \, \sigma_{пр}$$

$$l_ф \, \delta = r_ф \, \sigma_{пр}$$

$$k_э = l_ф / r_ф = \sigma_{пр} / \delta \qquad (3:1)$$

где *la* – эффективная длина заделки фибры; *lф* – технологическая длина фибры; *δ* – удельное сцепление материала фибры с цементным камнем; *δпр* – предел прочности материала фибры; *kэ* – коэффициент эффективной заделки фибры.

Анализ проведенных исследований показывает, что повышение прочностных характеристик фибробетона с применением фибр малого диаметра с высоким процентом насыщения, создает трудности с технологией приготовления смеси (при большом количестве образуется так называемые "ежи") и увеличивает вредное влияние в связи с повышением площадей ослабления. Поэтому выбор показателей насыщения и упрочения необходимо определять с учетом характера размещения фибр.

Особенности формирования и усиления контактной зоны «цементный камень-волокно» рассмотрены в работах. Отмечено, что образование кристаллического сростка цементного камня в стесненных условиях на границе между матрицей и волокнами может привести к трансформации конфигурации этого сростка, в том числе к направленной геометрии распределения кристаллов в его структуре сростка, создавая «эффект самоармирования» бетонной матрицы. На рисунке 3.1 схематически показана контактная зона со сформированными слоями новообразований вокруг волокна.

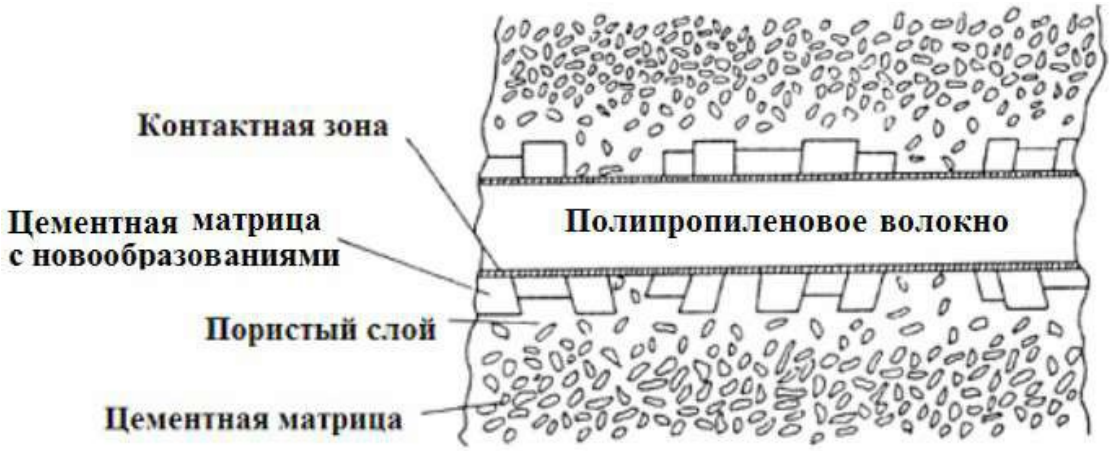


Рис. 3.1 - Контактная зона цементного камня и волокна

На границе контактной зоны бетонной матрицы и фибры положительный эффект вносит микрокремнезем, сокращающий в бетоне водоотделение, вызывающее под частицами заполнителя образование водных прослоек. Микрокремнезем поглощает излишки воды и уплотняет структуру, снижая пористость и улучшая прочность контактной зоны. При интенсивном формировании новообразований вследствие более глубокой гидратации вяжущего происходит упрочнение структуры модифицированного цементного камня и повышение анкеровки волокон. Однако, вследствие наличия на поверхности фибры замасливающих препаратов и различных загрязнений возможно неравномерное формирование новообразований, ослабление контактной зоны и появление микродефектов[27].

Прочность на растяжение при изгибе является одним из важных показателей фибробетона, который зависит от содержания фибры и её длины, прочности её сцепления с бетонной матрицей, класса бетонной матрицы и превышает прочность исходного бетона в 3,5 – 5 раз. Прочность на растяжение при изгибе цементного камня с цементно – водным отношением более 3,2 существенно возрастает до объемного содержания фибры, равного 1%. Дальнейшее увеличение содержания фибры с 1 % до 3 %, т.е. в три раза,

увеличивает прочность на растяжение при изгибе лишь на 17 – 20 % [28]. показания прочности при изгибе и жесткость, когда направление приложения нагрузки перпендикулярно направлению распределения волокон, ниже получаемых при приложении нагрузки параллельно направлению распределения волокон. Эффективность волокон (т.е. сопротивление волокон выходу из цементной матрицы) возрастает с увеличением соотношения сторон. Кроме того, адгезия между ними также возрастает с увеличением прочности матрицы. В фибробетоне с правильно соблюденными пропорциями компонентов, разрушение возникает из – за выхода фибр, даже с деформированными фибрами. Таким образом, различная геометрия фибр и взаимодействие матрицы с волокном могут повлиять на поведение фибробетона при изгибе. Динамическая прочность при сжатии (призменная) возрастает с увеличением объемного содержания фибры и уменьшением их относительной длины (на 35 % выше прочности исходного бетона) [29].

3.1 Влияние упругости фибры по адгезии к цементному камню

Материалы на основе портландцемента широко применяются в строительстве. Несмотря на неоспоримые достоинства они характеризуются низкой ударной прочностью, низким сопротивле-нием на разрыв и образованием усадочных трещин. Наряду с традиционным подходом, основанным на использовании стальной арматуры и металлических сеток, в последнее время находит все большее применение дисперсное армирование цементной матрицы с помощью волокон (фибр). Фибру производят из различных материалов, в различных конфигурациях, длинах и поперечных сечениях. [30]. Сцепление фибры с бетоном и повышение технологичности операций, в первую очередь, зависит от отношения длины фибры к ее диаметру (l/d), которое может изменяться в широких пределах и влиять на степень анкеровки волокна в бетонной матрице, а также на технологические свойства фиброармированных бетонных смесей [45]. В механике композитов с дисперсным армированием при

оценке влияния длины волокна (фибры) используется относительный параметр l/d, при этом считается, что наибольший армирующий эффект достигается при l/d≈ 60…100. При больших значениях этого параметра (больших длинах волокон) армирующий эффект ухудшается ввиду комкования волокон и ухудшении однородности структуры. Влияние объемной концентрации фибры реализуется, начиная от некоторого уровня, обусловливающего достижение начальной объемно – пространственной связности фиброструктуры. Только после достижения «непрерывности» фиброармирования начинает ощущаться его позитивное влияние на характеристики исходного бетона – матрицы. Согласно В.В. Бабкову, такие условия для игл при l/d = 100 наступают при объемной концентрации около 0,3 % [46].

Технологический процесс изготовления фибробетона должен обеспечить равномерное распределение фибры в объеме, при этом расположение элементов фибры получается хаотичным и в полной мере упругие и прочностные свойства фибры не используются. Совместность работы бетона и фибры обеспечивается, главным образом, сцеплением по их поверхности. Для некоторых видов фибры, в частности стальной, дополнительное сцепление получается за счет устройства анкеров в виде утолщений или загибов на концах фиброэлементов. Материалы, применяемые в качестве фибры, были поделены на три класса по величине собственного модуля упругости в сравнении с модулем продольной упругости бетона (Ес = (0,2…0,25) ·105 МПа):

высокомодульную, среднемодульную и низкомодульную фибру.

К высокомодульной фибре (Ef > Ec) относятся волокна углерода (Е = (2…3,5) ·105 МПа) , волокна бора (Е = 4,22 ·105 МПа), стальная фибра (Е = 2 ·105 МПа) и т. п. Наибольшее распространение получила сравнительно недорогая стальная фибра, которая имеет различную конфигурацию и изготавливается штамповкой из листа, резкой из тонкой проволоки, фрезерованием специальных слябов и т. д. Имея прочность на растяжение от 400 до 1100 МПа и высокую по сравнению с бетоном жесткость , при достаточной

анкеровке в бетоне стальная фибра может давать максимальный вклад в работу композита при статической нагрузке в стадиях до и после образования трещин. К среднем одульной фибре, упругие свойства которой соизмеримы со свойствами бетона, относятся стекловолокно (E = 0,7 ·105 МПа), минеральные волокна.

Для дисперсного армирования бетона используется специальное щелочестойкое стекловолокно, например марки СЦ–6, имеющее нормативное сопротивление растяжению до 1100 МПа. Обычное алюмоборосиликатное стекловолокно растворяется в щелочной средтвердеющего бетона и требует специальной защиты.

К низкомодульной фибре (Ef < Ec) относятся натуральные волокна (хлопок, дерево и др.), полимерные волокна.

Представляет интерес полипропиленовая фибра (E = (0,04…0,08) ·10^5 МПа), которая сочетает высокую химическую стойкость, легкость, широкий температурный диапазон применения, неэлектропроводность, радиопрозрачность и довольно высокую механическую прочность – до 500 МПа.

В работе использовалась методика расчета модуля упругости бетона в зависимости от свойств заполнителя и цементного камня [31]. В нашем случае заполнителем служат фиброэлементы, а матричным материалом – мелкозернистый бетон с известными упругими свойствами. Учитывая существенную схематизацию материала, расчет ограничивается наиболее простыми зависимостями, присущими упругой деформации.

Выделим элементарный объем материала вокруг одного фиброэлемента (рис. 3.1.1). Тогда объемное содержание фибры можно выразить так:

$$\mu_{об} = \frac{a^3}{A^3}, \qquad (3:2)$$

где а3 – объем фибры; А3 – выделенный объем фибробетона.

Рассмотрим два крайних расположения фиброволокна в бетонной матрице по отношению к растягивающей (сжимающей) нагрузке: вдоль и поперек. Сцепление между бетоном и фиброй будем считать идеальным. Определим модуль упругости слоя I, в котором фибра расположена вдоль приложенной нагрузки (рис. 3.1.2).

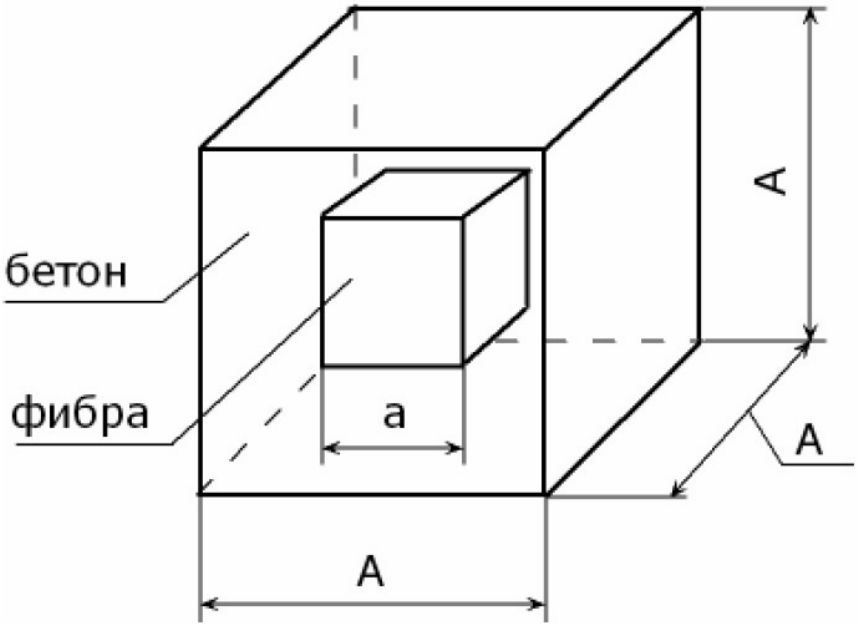


Рис.3.1. 1. Объемный элемент фибробетона

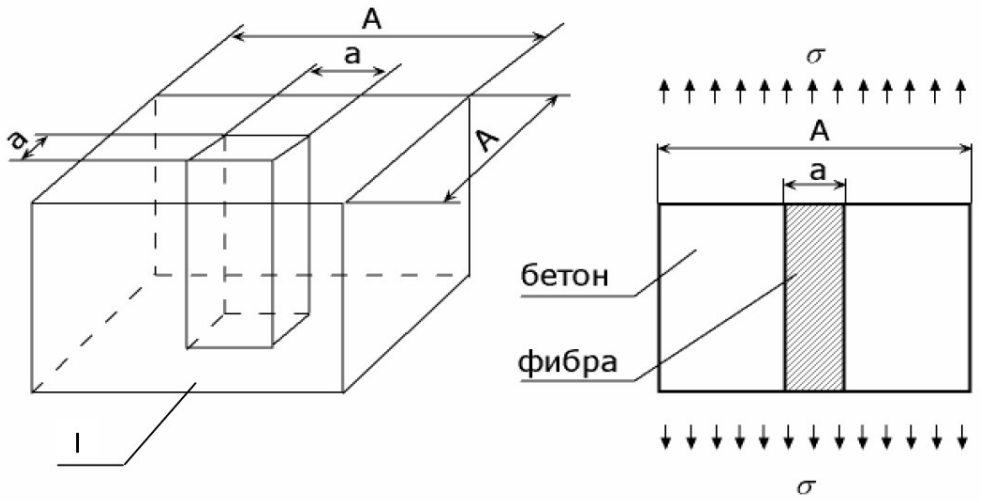


Рис.3.1. 2. Расположение фиброэлемента вдоль приложенной нагрузки в слое I

Допуская сохранение целостности выделенного слоя, можно утверждать, что упругие продольные деформации ε матрицы и фиброэлемента одинаковы и по закону Гука равны:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E^{I}} = \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_f}{E_f}, \qquad (3:3)$$

где σc и σf – напряжения в бетоне и

фиброэлементе соответственно; σ – усредненные напряжения по поперечному сечению выделенного элемента;

EI, Ec, Ef – модули продольной упругости слоя I, бетона и фиброэлемента соответственно.

Поверхностное содержание фибры по поперечному сечению выделенного слоя равно

$$\mu_{пов} = \frac{a^2}{A^2} = \sqrt[3]{\mu_{об}^2}\,. \qquad (3:4)$$

На границе между бетонной матрицей и фиброй напряжение будет меняться скачкообразно. Определим усредненное напряжение в слое I по формуле

$$\sigma = \sigma_f \cdot \mu_{пов} + \sigma_c \cdot (1 - \mu_{пов}). \qquad (3:5)$$

Выразим напряжения σc и σf через модули упругости и подставим результат в формулу (3:4):

$$\sigma_c = \frac{\sigma \cdot E_c}{E^I};$$

$$\sigma_f = \frac{\sigma \cdot E_f}{E^I};$$

$$\sigma = \frac{\sigma \cdot E_f}{E^I} \cdot \mu_{пов} + \frac{\sigma \cdot E_c}{E^I} \cdot (1 - \mu_{пов}) \cdot \qquad (3:6)$$

Откуда модуль упругости слоя I Равен

$$E^I = E_c + \mu_{пов} \cdot (E_f - E_c) =$$
$$= E_c + \sqrt[3]{\mu_{об}^2} \cdot (E_f - E_c). \qquad (3:7)$$

Определим модуль упругости слоя II, в котором фибра расположена поперек приложенной нагрузки (рис. 3.1.3).

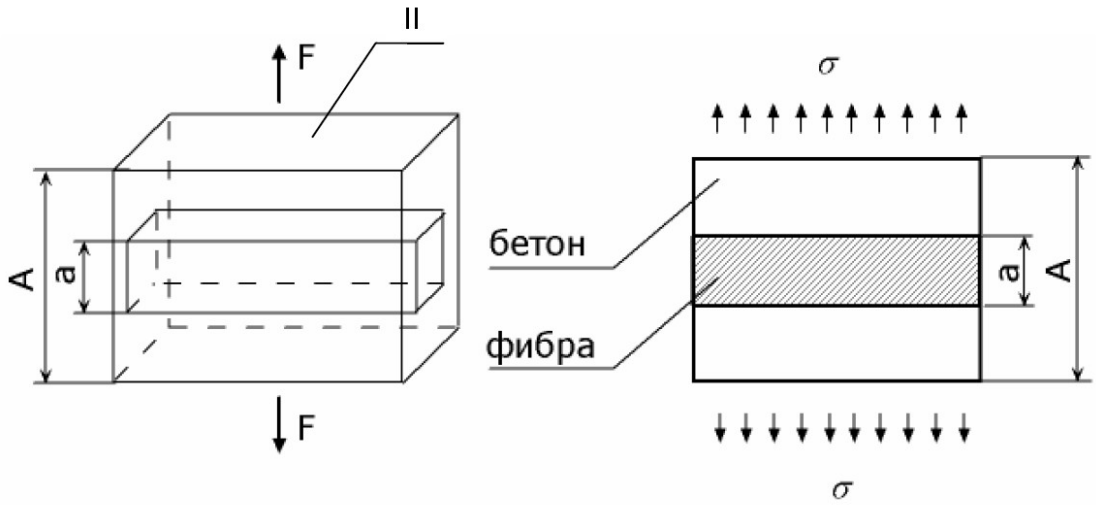


Рис. 3.1.3. Расположение фиброэлемента поперек приложенной нагрузки в слоеII

Погонное содержание фибры по высоте выделенного объема равно

$$\mu_{пог} = \frac{a}{A} = \sqrt[3]{\mu_{об}} \cdot \qquad (3:8)$$

Продольная деформация всего выделенного слоя будет складываться из деформаций входящих материалов:

$$\varepsilon = \varepsilon_f \cdot \mu_{пог} + \varepsilon_c \cdot (1 - \mu_{пог}) =$$

$$= \varepsilon_c + \mu_{пог} \cdot (\varepsilon_f - \varepsilon_c). \qquad (3:9)$$

Выразим деформации через результирующее напряжение по закону Гука:

$$\frac{\sigma}{E^{II}} = \frac{\sigma}{E_c} + \mu_{пог} \cdot \left(\frac{\sigma}{E_f} - \frac{\sigma}{E_c}\right) \cdot \qquad (3:10)$$

После преобразований получаем модуль упругости слоя II:

$$E^{II} = \frac{E_c \cdot E_f}{E_f + \mu_{пог} \cdot (E_c - E_f)} =$$

$$= \frac{E_c}{1 - \sqrt[3]{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / E_f)}. \qquad (3:11)$$

Введем в дальнейший расчет модули упругости EI и EII как упругие характеристики слоев, входящих в выделенный объемный элемент, в котором бетонная матрица окружает фиброэлемент со всех сторон.

Для варианта с продольным расположением фиброэлемента относительно приложенной нагрузки (рис. 4, а) определим модуль упругости фибробетона по формуле (3:10), подставляя вместо Ef модуль упругости слоя EI (формула (3:6)):

$$E_{fc} = \frac{E_c}{1 - \sqrt[3]{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / E^I)} =$$

$$= \frac{E_c}{1 - \sqrt[3]{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / (E_c + \sqrt[3]{\mu_{об}^2} \cdot (E_f - E_c))}. \qquad (3:12)$$

Для варианта с поперечным расположением фиброэлемента относительно приложенной нагрузки (рис. 3.1.4, б) определим модуль упругости фибробетона по формуле (3:6), подставляя вместо Ef модуль упругости слоя EII (формула (3:10)):

$$E_{fc} = E_c + \sqrt[3]{\mu_{об}^2} \cdot (E^{II} - E_c) = E_c + \sqrt[3]{\mu_{об}^2} \times$$

$$\times \left(\frac{E_c}{1 - \sqrt[3]{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / E_f)} - E_c \right). \qquad (3:13)$$

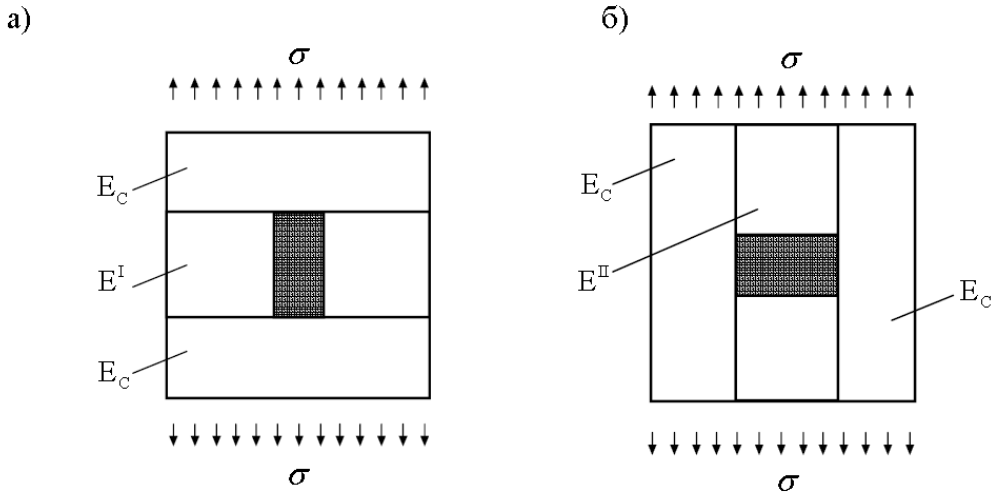


Рис.3.1

.4. Варианты продольного (а) и поперечного (б) расположений фиброэлемента в бетонной Матрице

По формулам (3:11) и (3:12) были сделаны расчеты начального модуля упругости фибробетона при наиболее распространенном объемном содержании фибры: от 0,008 до 0,03 (от 0,8 до 3 %). Фибра в расчетах представлена материалами из разных групп модульности: сталь, стекло и полипропилен.

В качестве исходных модулей упругости материалов выбраны следующие усредненные значения: для бетонной матрицы – Ec = 0,2 ·105 МПа; для стальной фибры – Ef = 2 ·105 МПа; для стеклянной фибры – Ef = 0,7 ·105 МПа; для полипропиленовой фибры – Ef = 0,05 ·105 МПа. Результаты расчета начального модуля упругости фибробетона в зависимости от объемного содержания фибры разной модульности при ее продольном и поперечном расположениях сведены в табл. 3.1.1

Табл.3.1.1. Результаты расчета начального модуля упругости фибробетона

Объемное содержание фибры	Начальный модуль упругости фибробетона, МПа					
	Стальная фибра, E = 200 000 МПа		Стеклянная фибра, E = 70 000 МПа		Полипропиленовая фибра, E = 5 000 МПа	
	рис. 4, а	рис. 4, б	рис. 4, а	рис. 4, б	рис. 4, а	рис. 4, б
0,008	21 118	20 176	20 370	20 133	19 877	19 700
0,01	21 352	20 223	20 457	20 168	19 846	19 636
0,012	21 584	20 272	20 545	20 205	19 814	19 573
0,014	21 804	20 322	20 631	20 242	19 783	19 512
0,016	22 018	20 373	20 715	20 279	19 751	19 453
0,018	22 225	20 424	20 799	20 316	19 719	19 395
0,02	22 423	20 475	20 880	20 354	19 688	19 339
0,022	22 622	20 529	20 963	20 393	19 656	19 283
0,024	22 813	20 582	21 044	20 431	19 624	19 229
0,026	23 006	20 638	21 126	20 471	19 591	19 174
0,028	23 198	20 695	21 208	20 511	19 558	19 120
0,03	23 380	20 750	21 287	20 551	19 526	19 068

Схемы (см. рис.3.1. 4) представляют собой полярные случаи расположения фиброэлементов в бетонной матрице по отношению к действующей нагрузке. Влияние на упругие свойства фибробетона промежуточных (наклонных) положений фиброэлемента будет находиться между результатом по формуле (3:11) и результатом по формуле (3:12). Окончательное значение начального модуля упругости фибробетона было получено усреднением величин, представленных в табл. 1. Возможна корректировка свойств фибробетона в зависимости от длины фиброволокна и количества фиброэлементов, попавших в плоскость разрушения [32].

Величина начального модуля упругости фибробетона в зависимости от вида и объемного содержания фибры показана на графике (рис. 3.1.5). Выбор оптимального содержания фибры позволит моделировать заданные упругие свойства фибробетона с одновременным увеличением прочности, так как большинство фиброматериалов обладают по сравнению с бетоном более высокими прочностными свойствами, особенно на растяжение. Предел

прочности на растяжение для фибробетона может достигать 26 МПа, тогда как для обычного бетона он не превышает 5,5 МПа.

По показателю работы разрушения фибробетон может в 15 – 20 раз превосходить бетон [33]. Область применения фибробетона в значительной степени зависит от его упругих свойств. Стальная высокомодульная фибра повышает прочность и пластичность бетона, сравнительно недорога, но существенной проблемой является комкование фибры при замесе. Более жесткие фиброэлементы воспринимают большую долю нагрузки, разгружая бетонную матрицу, поэтому такой материал хорошо себя проявляет при строительстве зданий повышенной взрыво и взломоустойчивости, например здание Центрального Банка России в г. Москва. Для дорожного покрытия применение сталефибробетона ограничено из – за возможной коррозии стали от действия атмосферных осадков, а более высокие упругие свойства в стесненных условиях будут создавать дополнительные температурные напряжения при перепаде температур. Сопротивление ударным нагрузкам нельзя прогнозировать однозначно, так как рост прочностных свойств материала может быть нивелирован уменьшением его деформативной способности.

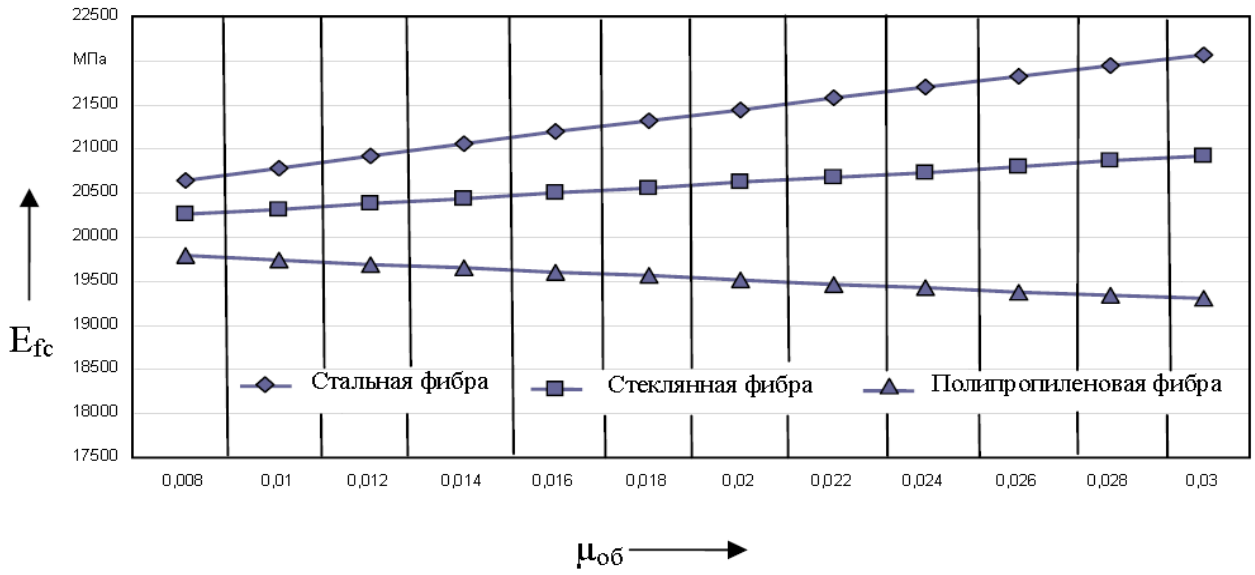


Рис. 3.1.5. График зависимости начального модуля продольной упругости фибробетона от вида и объемного содержания фибры

Среднемодульная стеклофибра кроме того, что имеет хорошую жаростойкость, не комкуется при смешивании. Она должна уменьшить трещинообразование, скрепляя цементный камень огромным количеством тонких нитей. По исследуемым показателям она больше подходит для объектов дорожного строительства, чем стальная фибра, так как меньше реагирует на перепады температур, не корродирует во влажной среде, более устойчива к ударным нагрузкам благодаря увеличению прочности при незначительном увеличении жесткости. Стеклянная фибра более близка по упругим свойствам к бетонной матрице, что должно дать наибольший эффект при атмосферном воздействии: уменьшить развитие внутриструктурных усадочных напряжений от циклического замачивания-высушивания и нагревания – охлаждения.

Использование низкомодульной полипропиленовой фибры препятствует образованию усадочных трещин на этапе изготовления, повышает морозостойкость при эксплуатации. Понижение модуля упругости фибробетона способствует его лучшей деформативности, что гасит энергию удара и уменьшает напряжения при перепаде температур для конструкций, работающих

в стесненных условиях. Полипропилен обладает еще одним ценным качеством: обладая прочностью, как сталь и выше, почти в 9 раз легче стали, что важно при больших объемах бетонных работ. Высокая технико-экономическая эффективность использования фибробетона может быть достигнута при учете максимального снижения материалоемкости и собственного веса конструкции за счет использования тонкостенных элементов повышенной прочности. Простая замена бетона на фибробетон не позволит полностью реализовать его ценные свойства и получить ощутимый экономический эффект. Для ведения проектировочных расчетов необходимо знать характеристики упругости и прочности материала, в частности модуль продольной упругости, известные данные по которому для фибробетона недостаточны или противоречивы [34].

3.2 Влияние вида поверхности фибры на адгезию к цементному камню.

С физико – химической точки зрения адсорбция зернистых дисперсных частиц на поверхности волокна включает следующие этапы:

– перемещение ионов и мельчайших зернистых дисперсных частиц к поверхности волокна;

– формирование упругого контакта между зернистой частицей и наружной поверхностью волокна;

– диффузию мельчайших дисперсных частиц из поверхностного слоя в толщу волокон;

– закрепление новообразований цементного камня в толще и на Поверхности.

На поверхности волокон потенциальный барьер достигает такой величины, что в воздушно – сухих условиях возможность приближения отрицательно заряженных ионов практически исключается. При погружении волокрн в жидкую фазу пеносмеси в результате первичной адсорбции молекул воды на границе раздела фаз возникает двойной электрический слой (ДЭС) ионов, в котором протекают процессы вторичной или обменной адсорбции ионов. ДЭС

объясняется диссоциацией поверхностных электрически активных групп, входящих в состав макромолекул волокнообразующего полимера и ориентацией дипольных молекул воды. Так образуется дипольный ДЭС на поверхности волокнистой твердой фазы. Изучение электрокинетических свойств синтетических волокон показало, что после образования ДЭС взаимодействие волокон с ионами зернистой твердой фазы, находящимися в растворе представляет собой вторичную адсорбцию или ионообмен, приводящий к изменениям в ДЭС, Повышение концентрации ионов электролитов Са(0Н)2 и др., приводит к сжатию диффузной части ДЭС, благодаря чему ионы вяжущего могут приближаться на такие близкие расстояния к поверхности волокна, когда начинает проявляться действие сил специфической адсорбции ионов или частиц, в том числе заряженных одноименно с поверхностью волокна. И в том и в другом случае адсорбция изменяет состав адсорбционной части ДЭС, что отражается на изменении величины и знака потенциала и дальнейшем ходе процесса адсорбции на волокне. Многочисленными исследованиями установлено, что изменение потенциала волокон при изменении температуры жидкой фазы носит сложный характер. Однако в интервале температур от +20°С до +100°С существенного изменения значений потенциала не обнаружено. Детальное исследование электрокинетических свойств поверхности волокон в жидких фазах различного вещественного состава с целью установления корреляции между электрокинетическим потенциалом и поведением волокон при адсорбции и других процессах показало, что величина потенциала оказывает существенное влияние на характер адсорбции твердой фазы волокнами. Способность набухать, поглощать и сорбировать влагу и твердую фазу существенно зависит от особенностей надмолекулярной структуры волокна. Диффузия частиц твердой фазы ограничивается аморфными областями, не затрагивая кристаллических. Надмолекулярная структура волокна предопределяет такие свойства как величина внутренней поверхности, пористость, способность к набуханию, поглощению влаги и термические

свойства, которые, в свою очередь, играют важную роль в сорбции и фиксации твердой фазы на поверхности волокна. Средством управления растворимостью зернистых частиц твердой дисперсной фазы является введение в раствор поверхностно – активным веществом. По современным представлениям цементное тесто состоит из твёрдых дисперсных частиц, находящихся внутри коллоидного раствора. Между твердой фазой и коллоидно растворимой существует подвижное равновесие. Когда в цементно – водную суспензию добавляются поверхностно – активным веществом, то, в связи с уменьшением вязкости, растет мера гидрофильности воды по отношению к частицам твердой фазы. Подвод внешней энергии для перемешивания компонентов смеси, создает условия для вовлечения газовой дисперсной фазы. По мере вовлечения газовой фазы содержание поверхностно-активным веществом в воде уменьшается и происходит обратный процесс – повышение поверхностного натяжения воды и её вязкости. Этот процесс осуществляется параллельно с диспергациеи вяжущего, что ведет к интенсивному уменьшению количества свободной межчастичной воды и повышению сил сцепления между всеми видами частиц твердой дисперсной фазы [35].

В ходе многолетних исследований в лабораторных и промышленных условиях было установлено, что изделия, армированные полипропиленовыми волокнами, характеризуются значительными деформациями даже при небольших нагрузках растяжения, что объясняется низкой адгезией полипропилена в цементной матрице. Кроме того, такие изделия с течением времени теряют свои прочностные свойства, имеют высокую истираемость поверхности и горючесть при воздействии на волокно открытого пламени. Основными недостатками металлических волокон является катодный эффект и нестойкость к агрессивной среде цементных растворов. В свою очередь, базальтовая фибра по своим характеристикам лишена данных недостатков. В связи с этим возникает необходимость исследования бетонных изделий армированных базальтовой фиброй. Исследованиями, проведенными совместно

с Научно – исследовательским институтом строительных материалов и изделий (г. Киев) и Киевским Национальным транспортным университетом, установлено, что бетонные изделия, армированные базальтовой фиброй, характеризуются повышенной долговечностью, значительной прочностью на сжатие, морозостойкостью и др. Все это объясняется тем, что структура бетона, армированного базальтовой фиброй (БАБФ), близка к структуре, армоцемента с арматурой из стальной сетки. Однако БАБФ обладает более высокой прочностью и стойкий к деформациям, т.к. армирующая его фибра обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования бетонного камня и сам базальтовый материал обладает более высокой, чем стальная сетка, прочностью. Кроме того, БАБФ может переносить большие упругие деформации потому, что базальтовое волокно при растяжении не подвергается пластической деформации, а по упругости превосходит сталь. [36], показали, что область контакта между фиброй и матрицей характеризуется плотным соприкосновением поверхностей и отсутствием трещин и зазоров. (Рис. 3.2.1)

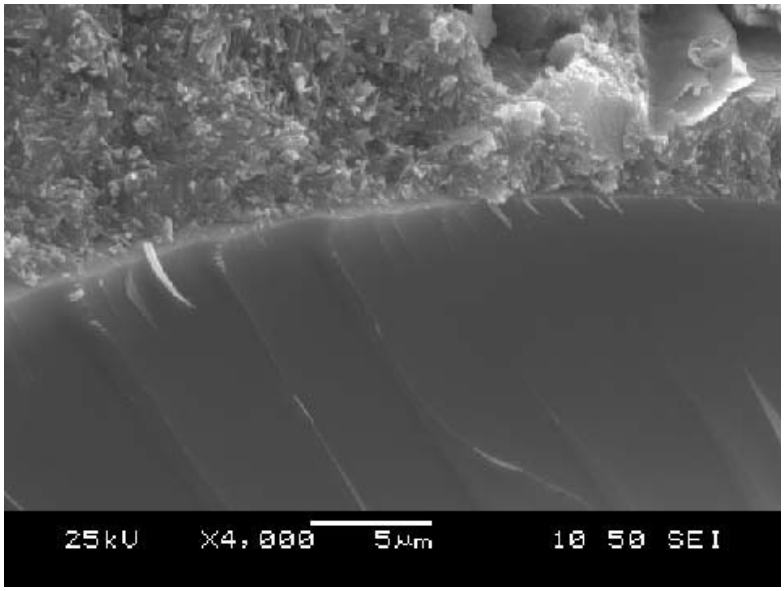


Рис3. 2.1 - Граница раздела между волокном и матрицей

Как известно материал волокна под действием агрессивной цементной среды реагирует с получением новообразований [37]. Происходит частичное

разрушение волокна, величина которого зависит от времени. В среднем разрушение происходит на глубину до 4 мкм. Новообразования усиливают соединение волокна с цементной матрицей. Это наглядно видно при разрушении образцов, на изломе (рис.3.2.2), что цементная масса и волокна разрушаются как единое тело без вырывания волокна из бетонной матрицы.



Рис3.2.2-Поверхность излома образца, армированного базальтовой фиброй

При использовании волокна диаметром 30 мкм под воздействием агрессивной среды твердеющего цемента остается минимум 22 микрона рабочего диаметра волокна, что практически не влияет на его прочностные характеристики. Применение фибры диаметром 12 мкм, изготовленной из базальтового ровинга без замасливателя показало, что с течением времени она теряет все прочностные характеристики и иногда полностью разрушается, так как волокна, после реакции с агрессивной средой бетона уменьшаются в диаметре до 4 мкм. При использовании фибры, изготовленной из базальтового ровинга с замасливателем, адгезия с цементной массой практически отсутствует. При изломе (рис. 3.2.3) четко видны обрывки волокон, выдернутых из бетонной матрицы**.**

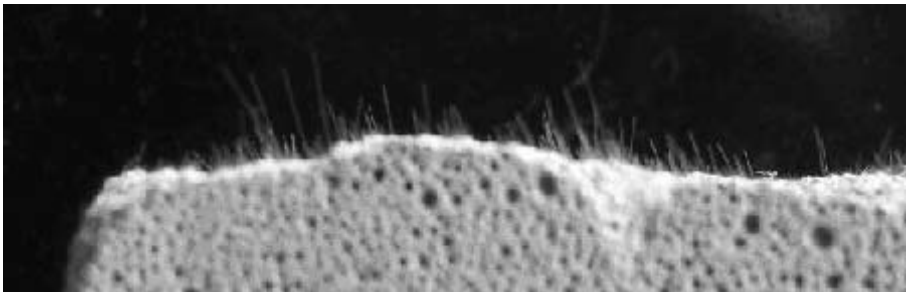


Рис3.2.3 - Адгезия бетона и фибры,
изготовленной из базальтового ровинга с замасливателем

Низкой адгезий с цементным вяжущим так же обладают полиамидные и пропиленовые волокна (рис. 3.2.4).

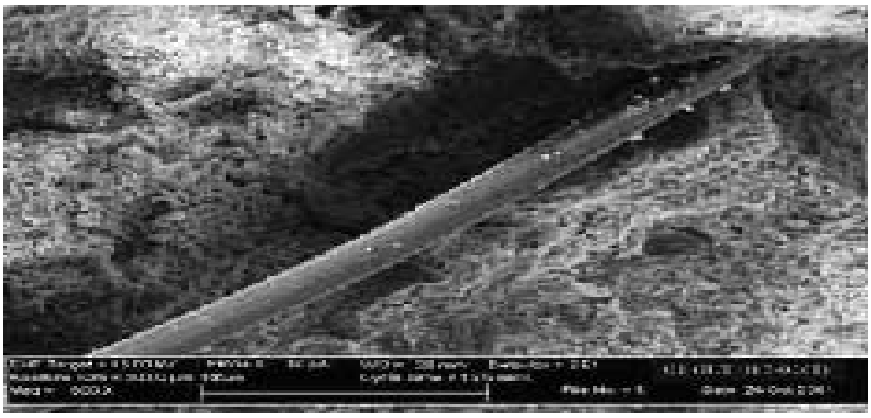
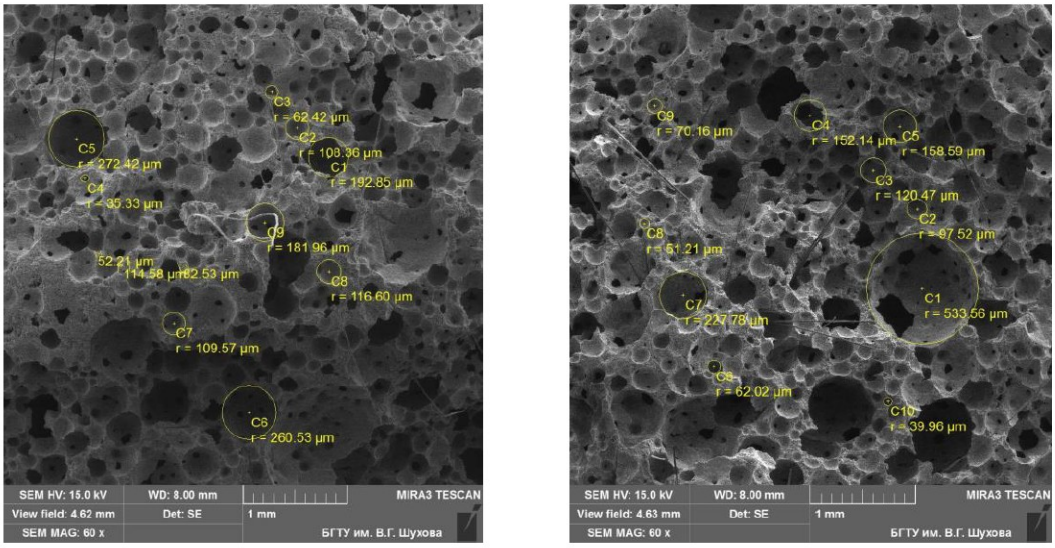


Рис3.2.4 - Адгезия цементного вяжущего и полиамидного волокна [38]

В зависимости от состава фиброволокна имеют различную степень адгезии. рассматривался характер взаимодействия фибры с силикатной матрицей вяжущего, в результате анализа было определено, что полимерная характеризуется низкой степенью адгезии, которая обусловлена механическим сцеплением с матрицей вяжущего. Базальтовая же фибра имеет высокую степень взаимодействия, вызванную эпитаксиальным ростом наноразмерных индивидов кварцевых составляющих вяжущего на поверхности волокна. Аналогичное действие распространяется и на ячеистые композиты на основе силикатного наноструктурированного вяжущего.



а б

Рис 3.2.5 – Общий вид микроструктуры фибропенобетона на основе НВ: а – базальтовая фибра; б – полимерная фибра

На микрофотографиях видно, что поровая структура ячеистого бетона, армированного базальтовой фиброй, характеризуется наличием пор сферической формы с четкими границами между ними, что подтверждает положительное влиянии мик-роармирующих компонентов на процессы формирования структуры в пеноматериалах (рис 3.2.6, а), имея гибкие и эластичные волокна, обеспечивает расположение волокна в системе между порами и выступает в качестве направляющего элемента, вокруг которого сконцентрированы ячейки, расположенные максимально близко друг к другу. Но в виду хаотичного распределения волокнистые добавки не всегда имеют упорядоченное распределение пор относительно волокна, поэтому возможны случаи, когда фибра проходит сквозь пору. При этом армирующий эффект сохраняется и минимизирует негативное влияние на прочностные характеристики материала от нарушения целостности пор.

Базальтовая фибра выступает в качестве подложки для направленной кристаллизации кварцевых новообразований (рис 3.2.6, б, в). Для получения скола исследуемой поверхности образец подвергался механическому внешнему

воздействию, в результате которого произошло выдергивание волокон из матричной системы композита. В результате поверхность выдернутого волокна усыпана конгломератами частиц, представляющих собой оставшиеся фрагменты межпоровой перегородки, что свидетельствует о высокой степени адгезии базальтового волокна и силикатной матрицы наноструктурированного вяжущего. Данный процесс, как и при взаимодействии с исходным вяжущим обусловлен эпитаксиальным ростом и формированием кварцполевошпатовых срастаний, характеризующихся прочным сцеплением с основной матрицей ячеистого композита.

На образцах пенобетона, армированного полимерной фиброй, наблюдаются незначительные скопления агрегатов микрочастиц вяжущего с неоднородным распределением (рис 3.2.6, г, д, е). При этом некоторые области волокна имеют гладкую и чистую поверхность (рис 3.2.6, е).

При исследовании микроструктуры фибры полимерная определено, что поверхность данного волокна отличается незначительной рельефностью, наличие которой определяет слабую адгезию за счет механического сцепления с минеральной матрицей ячеистого композита.

На фотографиях (рис 3.2.6, г, д) хорошо видно, что участки межпоровых перегородок и самого волокна имеют гладкую глянцевую поверхность, что обусловлено действием щелочного раствора при упрочнении. При этом наблюдается рассечение структуры поверхности волокна с отколом замоноличенного поверхностного слоя, который вызван проведением процедуры пробоподготовки.

Оценка структуры межпоровых перегородок и внутрипорового пространства армированного пенобетона также является определяющим факторов качества ячеистых композитов.

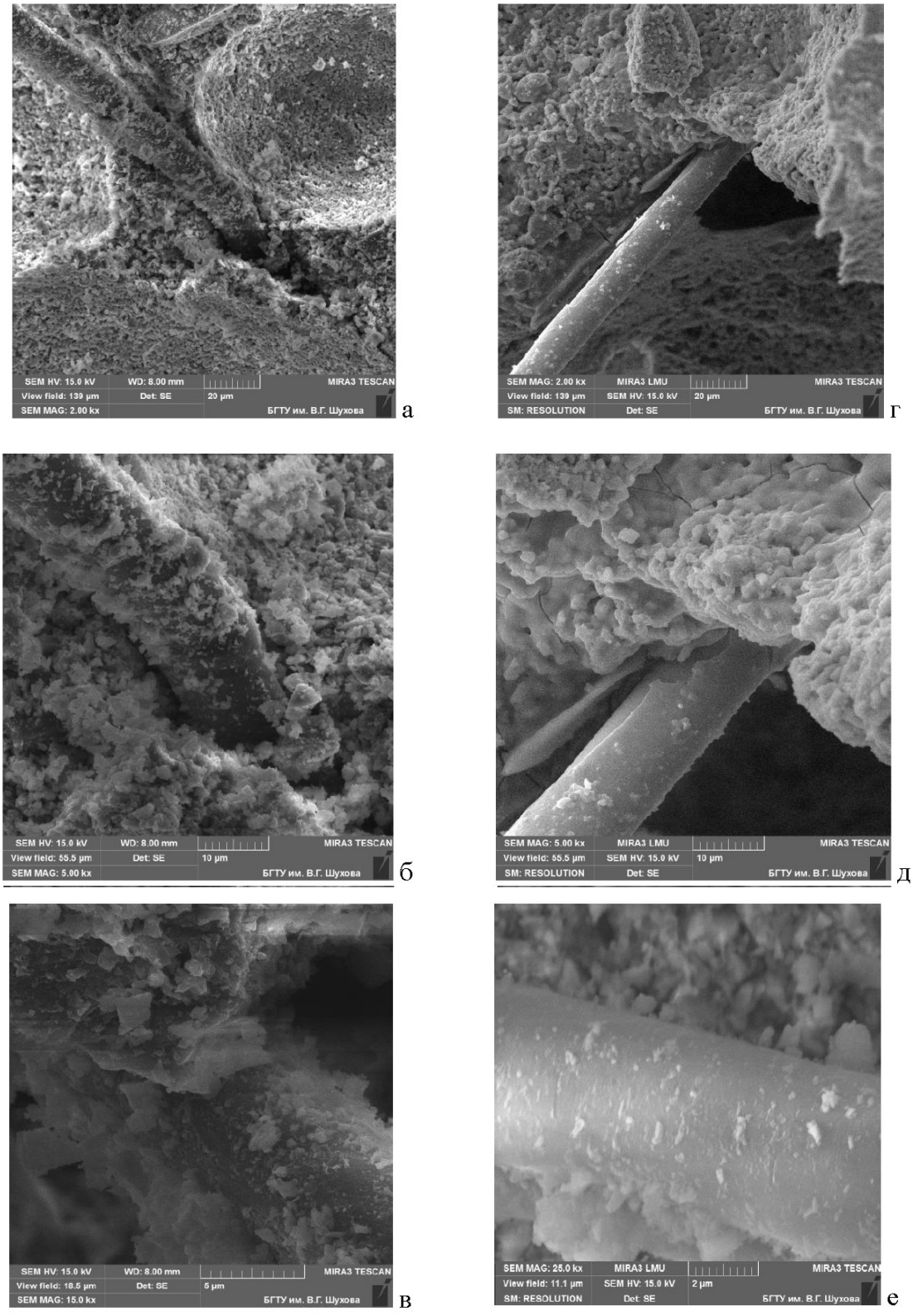


Рис3.2.6 – Микроструктура участков контакта фибры с матрицей:

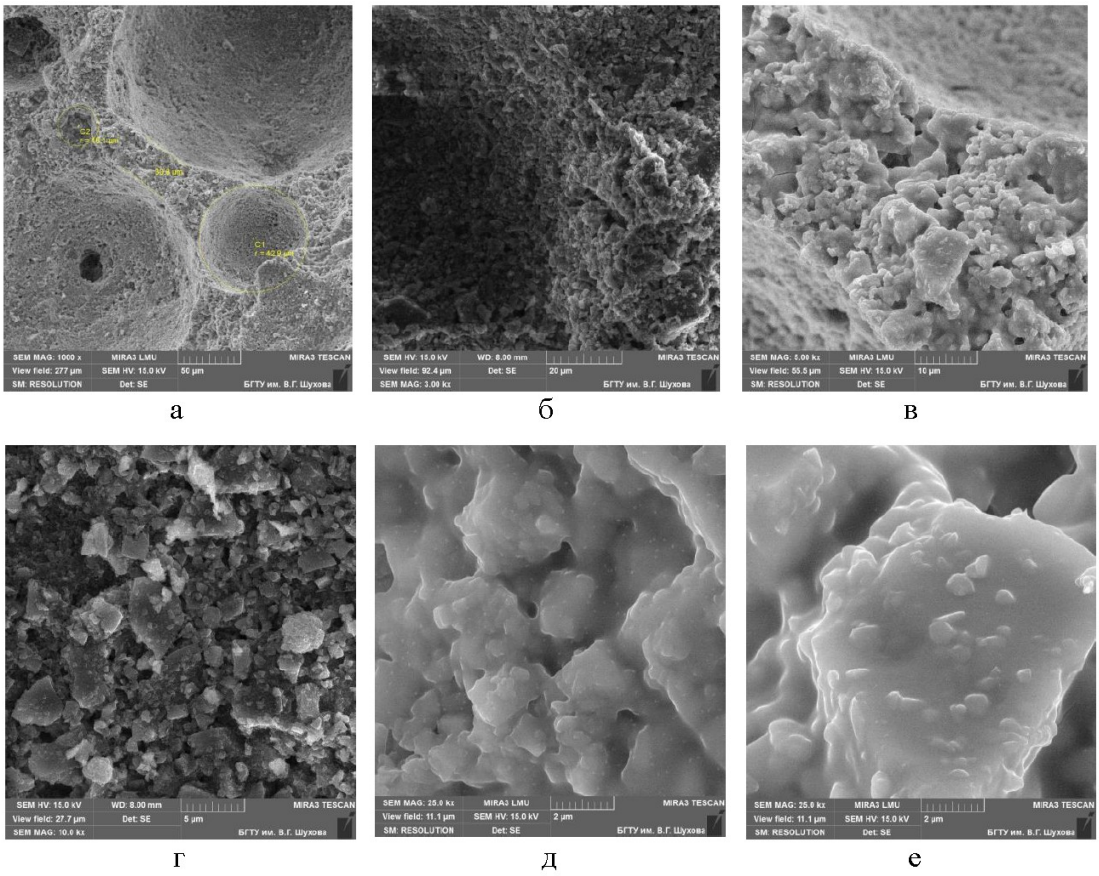
а, б, в – базальтовая фибра; г, д, е – полимерная фибра

Бесцементный фибропенобетон с применением базальтового волокна характеризуется выраженной ячеистой структурой с порами полидисперсного размера (рис3.2.7, а). Основную массу композита представляют частицы кварца, характеризующиеся обломочной и угловатой формой частиц. Межпоровая перегородка, толщина которой находится в пределах 30 мкм, и поверхность поры сложены мелко-дисперным кварцем с высокой степенью плотности упаковки (рис 3.2.7, а, б, г). О степени сцепления и, соответственно, прочности композита, можно судить по расположению и характеру взаимодействия минеральных частиц вяжущего между собой. Скол внутренней части образца, открывающий поверхность межпоровой перегородки, характеризуется плотной кварцевой системой с однородным распределением мелких частиц уровня 30–100 нм на более крупных, размером 5–10 мкм. Явные признаки сродства между отдельными частицами проявляются при проведении упрочнения (рис 3.2.7, в, д, е). В ячеистых бетонах на основе наноструктурированного вяжущего (НВ) происходит омоноличивание кремнеземистого вещества. Границы между отдельными зернами размыты, что свидетельствует о прочном срастании полидисперсной системы в плотный композит. Наличие в системе фиброволокна обеспечивает капиллярно – пористое строение, что способствует как интенсификации сушки фибропенобетона, так и проникновению щелочного раствора во внутреннюю поверхность материала и повышению эффективности упрочнения.

Образцы фибропенобетона на основе НВ с фиброй полимерная характеризуются аналогичными микроструктурными особенностями. Пористая структура представлена ячейками преимущественно сферической формы, присутствуют также элементы полиэдрической формы, средние размеры которых находятся в диапазоне 100 – 300 мкм (рис 3.2.8, а, б). Поровые структуры представлены полидисперсной матрицей из частиц кварца, слагающих плотную структуру ячеистого композита. После упрочнения внутренняя поверхность приобретает гладкость и связность элементов

внутрипорового пространства, однородность и прочность сцепления между кварцевыми компонентами матрицы, что приводит к уплотнению и упрочнению структуры межпоровых перегородок (рис3.2.8, в – ж). Наблюдаемые микротрещины (рис 3.2.8, г, е) являются результатом препарирования образцов для съемки при формировании скола, и не свидетельствуют о внутренних нарушениях.

Зафиксирована интересная область внутрипорового пространства (рис 3.2.8, з), где отмечается рост кристаллических фаз игольчатой структуры кремнеземсодержащей матрицы, которые за счет размеров и формы заполняют образованные пустоты, восстанавливая общую структуру поры.

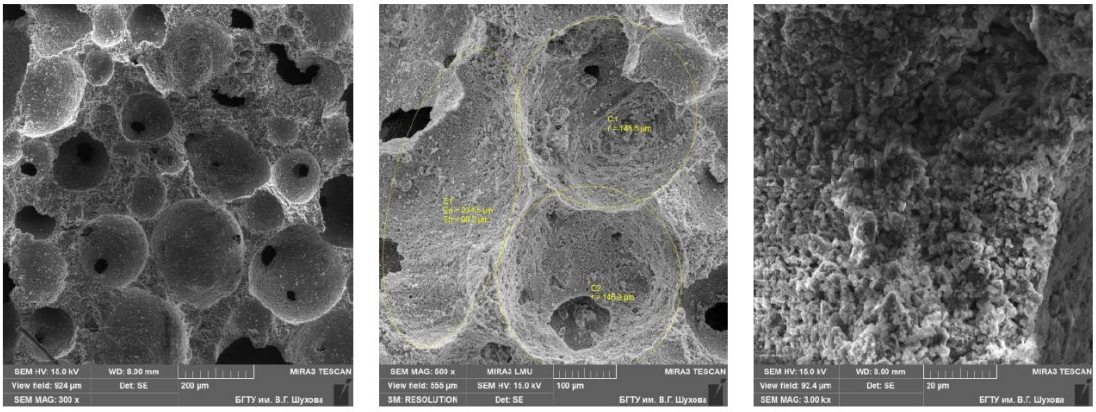


а б в

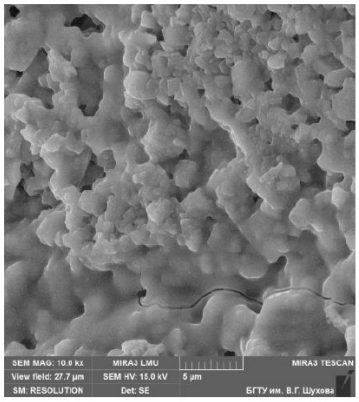
г д е

Рис 3.2.7– Микроструктура межпористых перегородок и поверхности пор фибропенобетона на основе НВ с базальтовой фиброй: а – внутрипоровое пространство; б – межпоровая перегородка; в – межпоровая перегородка (упрочненная); г – поверхность поры; д, е – поверхность поры (упрочненная)

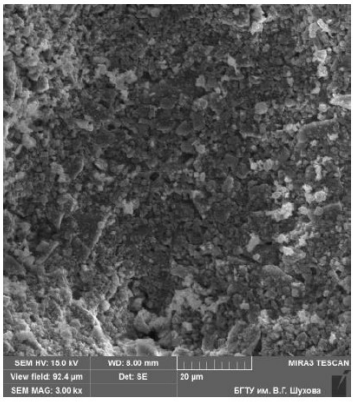
Таким образом, исследование структуры фибропенобетонных бесцементных композитов на микрометрическом уровне позволили определить положительное воздействие армирующих компонентов, усиленное дополнительной операцией упрочнения. Данное действие обуславливается характером сцепления компонентов: полимерная фибра представляет слабую степень контакта с основной матрицей композита, вызванную механическим сцеплением, что компенсируется более глубоким проникновением раствора при упрочнении; базальтовая фибра проявляет высокую степень взаимодействия за счет химического сродства, что приводит к формированию кристаллических новообразований по механизму эпитаксиального роста. В результате формируется рациональная пористая структура материала с высокими эксплуатационными и теплоизолирующими характеристиками.



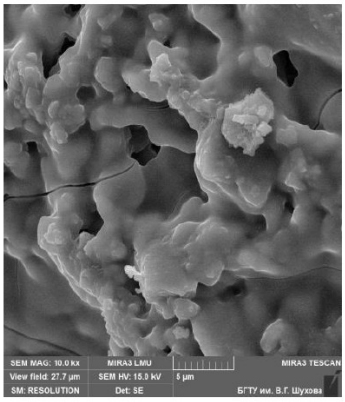
а б в



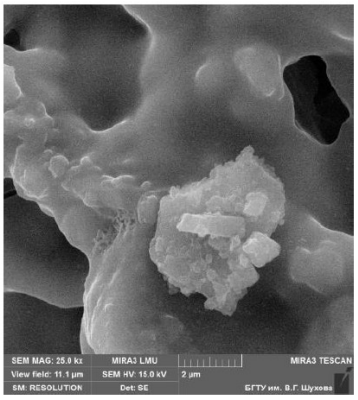
г



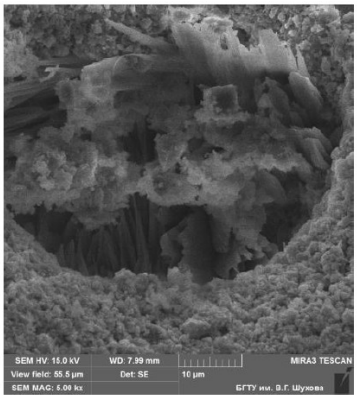
д



е



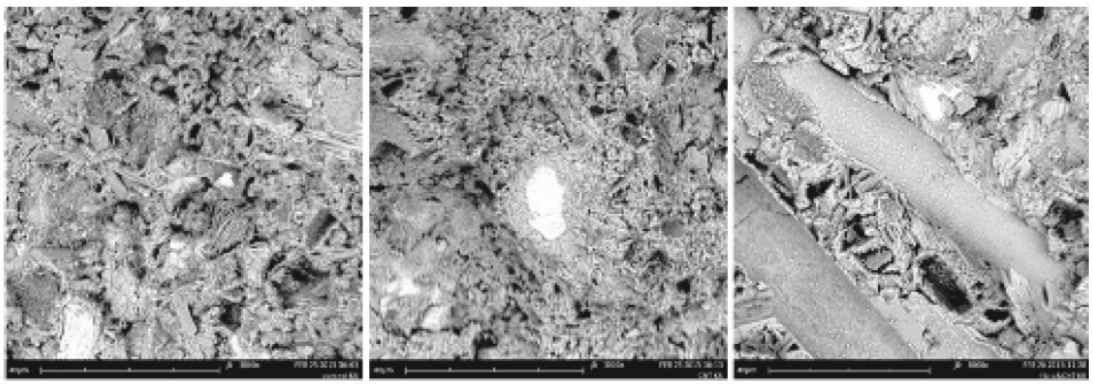
ж



з

а, б – внутрипоровое пространство; в – межпоровая перегородка; г – межпоровая перегородка (упрочненная); д – поверхность поры; е, ж – поверхность поры (упрочненная); з – пора

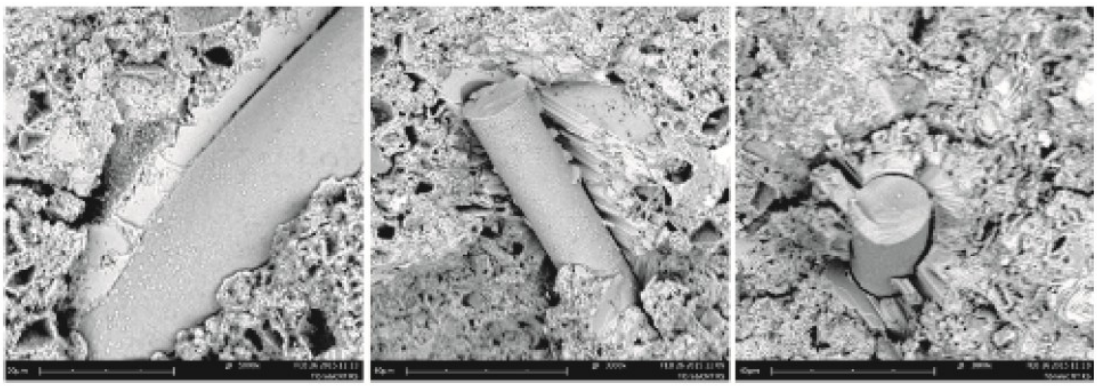
Рис 3.2.8 – Микроструктура межпористых перегородок и поверхности пор фибропенобетона на основе НВ с полимерной фиброй [39].



а) б) в)

Рис. 3.2.9 Микроструктура образцов при увеличении х3000:
а) контрольный образец; б) образец, модифицированный МУНТ;
в) образец, комплексно-модифицированный МУНТ и базальтовым волокном

Анализируя снимки электронного микроскопа, представленные на (рис.3. 2.9. б), необходимо отметить, что структурирование продуктов гидратации портландцемента за счет введения многослойных углеродных нанотрубок наблюдается и по поверхности заполнителя (песка) в отсутствие базальтовых волокон. Однако, в виду того, что базальтовое волокно имеет более развитую поверхность, в сравнении с мелким заполнителем, вполне закономерно структурирование плотной оболочки вокруг волокна с морфологией кристаллогидратов, ориентированных вертикально к поверхности твердой фазы (рис.3. 2.9 в). Снимки, представленные на (рис. 3.2.10 а-в), позволяют более детально изучить структуру новообразований, появляющихся на поверхности базальтового волокна в присутствии дисперсии многослойных углеродных нанотрубок.



а) б) в)

Рис. 3.2.10. Микроструктура образцов, модифицированных базальтовым волокном и МУНТ:

а) увеличение х5000; б, в) увеличение х3000[40]

3.3 Влияние наличия замасливателя на адгезию фибры к цементному камню

Во время процесса вытяжки ровинги обычно подвергаются обработке специальнымизамасливателями. Замасливание представляет собой процесс нанесения покрытия на поверхность волокон, которое способствует их объединению в комплексную нить (слипанию) и снижает трение между волокнами, препятствуя тем самым образованию поверхностных микротрещин, которые снижают прочность волокна. Наличие замасливателя может влиять на адгезионные качества волокон.

Были проведенные исследования по определению потери прочности фибры, изготовленной из непрерывного базальтового волокна без замасливателя, при ее пребывании в жидкой фазе твердеющего портландцементного бетона при нормальных условиях. Результаты экспериментов приведены в таблице 3.3.1

Таблица 3.3.1 – Прочность базальтового волокна после пребывания в жидкой фазе портландцементного бетона[38]

Время обработки, час.	Диаметр базальтового волокна, мкм					
	12		20		40	
	Прочность на разрыв					
	ГПа	%	ГПа	%	ГПа	%
0	1,05	100	0,72	100	0,55	100
3	0,84	80,0	0,70	97,2	0,55	100
24	0,8	76,2	0,68	94,4	0,54	98,2
720	0,77	73,3	0,67	93	0,53	96,3

В состав замасливателей входят такие вещества, как парафин, канифоль и поверхностно – активные вещества, которые ухудшают смачивание поверхности волокна, что отрицательно влияет на структуру поверхностного слоя полимеров.

Кроме того, входящие в состав замасливателей полярные соединения с различными активными группами могут взаимодействовать с реакционно – способными группами на поверхности наполнителя, препятствуя образованию прочных связей полимера с наполнителем [41].

Для поверхностной модификации волокон иногда производят их термохимическую обработку, которая заключается в удалении текстильного замасливателя, и последующую пропитку водными растворами специальных химических соединений – аппретами [42]. Однако, данные операции являются дорогостоящими и ухудшающими прочностные свойства волокон, поэтому для пластиков чаще применяют препараты, разработанные с использованием прямых замасливателей. Такие аппреты, в состав которых входят гидрофобно – адгезионные вещества, способствуют созданию прочной связи на границе раздела «полипропиленовое волокно – цементный камень». Кроме того, повышение адгезии к полимеру после термической и электрохимической обработки его поверхности обусловлено не только появлением на поверхности активных функциональных групп, но и удалением загрязнений, создающих ослабленную зону [44].

Наиболее эффективными в качестве замасливателей считаются соединения с ненасыщенными связями, содержащие концевую или внутреннюю двойную связь. К таким веществам относятся кремнийорганические соединения.

При изучении особенностей производства волокон выяснилось, что наибольшее распространение среди замасливателей полипропиленовой фибры получил прямой водосовместимый кремнийорганический замасливатель 4С (на основе неиогенных ПАВ, ненасыщенной эпоксидной эмульсии и аминосилана) [43]. Определено [27], что моносиланы устойчивы в нейтральной среде, но легко гидролизуются даже в присутствии малейших следов ОН − ионов:

$$SiH_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 4H_2 \uparrow$$
$$SiH_4 + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + 4H_2 \uparrow$$

Характерной особенностью гидролиза гидридов (на примере тетрагидрида кремния SiH4) является выделение водорода (H2). Реакция протекает по окислительно-восстановительному механизму полностью и необратимо.

Количество выделенного водорода пропорционально количеству прореагировавшего моносилана, и, следовательно, возрастает при увеличении расхода замасливателя с повышением расхода фибры в бетоне. Стоит отметить, что данные уравнения химических реакций хоть и позволяют определить количество прореагировавшего и образованного вещества, однако нет точной информации о продолжительности реакций и о количестве выделяемого водорода в ходе реакций гидролиза тетрагидрида кремния.

Учитывая сложный химический состав замасливателя трудно установить, какой из его компонентов гидролизуется, а какие – не вступают в реакцию или изменяют свое агрегатное состояние. А между тем выделение водорода при химической реакции может происходить как во время приготовления смеси, так и в период набора прочности фибробетона. Таким образом, повышение пористости от эффекта газообразования при экстракции аппретов может влиять на общую пористость бетона и в конечном счете на его морозостойкость.

Выводы

- основным механизмом увеличения прочности дисперсно-армированного бетона является увеличение прочности сцепления армирующего волокна с бетонной матрицей композита.
- Анализ проведенных исследований показывает, что повышение прочностных характеристик фибробетона с применением фибр малого диаметра с высоким процентом насыщения, создает трудности с технологией приготовления смеси (при большом количестве образуется так называемые "ежи") и увеличивает вредное влияние в связи с повышением площадей ослабления. Поэтому выбор показателей насыщения и упрочения необходимо определять с учетом характера размещения фибр.
- Прочность на растяжение при изгибе является одним из важных показателей фибробетона , который зависит от содержания фибры и её длины. показания прочности при изгибе и жесткость, когда направление приложения нагрузки перпендикулярно направлению распределения волокон, ниже получаемых при приложении нагрузки параллельно направлению распределения волокон.
- Эффективность волокон (т.е. сопротивление волокон выходу из цементной матрицы) возрастает с увеличением соотношения сторон. Кроме того, адгезия между ними также возрастает с увеличением прочности матрицы. В фибробетоне с правильно соблюденными пропорциями компонентов, разрушение возникает из – за выхода фибр, даже с деформированными фибрами. Таким образом, различная геометрия фибр и взаимодействие матрицы с волокном могут повлиять на поведение фибробетона при изгибе.
- Сцепление фибры с бетоном и повышение технологичности операций, в первую очередь, зависит от отношения длины фибры к ее диаметру (l/d), которое может изменяться в широких пределах и влиять на степень

анкеровки волокна в бетонной матрице, а также на технологические свойства фиброармированных бетонных смесей.

- Технологический процесс изготовления фибробетона должен обеспечить равномерное распределение фибры в объеме, при этом расположение элементов фибры получается хаотичным и в полной мере упругие и прочностные свойства фибры не используются. Совместность работы бетона и фибры обеспечивается, главным образом, сцеплением по их поверхности. Для некоторых видов фибры, в частности стальной, дополнительное сцепление получается за счет устройства анкеров в виде утолщений или загибов на концах фиброэлементов.
- Надмолекулярная структура волокна предопределяет такие свойства как величина внутренней поверхности, пористость, способность к набуханию, поглощению влаги и термические свойства, которые, в свою очередь, играют важную роль в сорбции и фиксации твердой фазы на поверхности волокна.
- Наличие в системе фиброволокна обеспечивает капиллярно – пористое строение, что способствует как интенсификации сушки фибропенобетона, так и проникновению щелочного раствора во внутреннюю поверхность материала и повышению эффективности упрочнения.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. УДК 691.87 . ОРИЕНТАЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИБР В ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЕ. Клюев А.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В.2014.
2. СТО НОСТСТРОЙ ФТБК 2013 «Освоение подземного пространства. Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона. Правила проектирования и производства работ». – М.: Национальное объединение строителей, 2013.
3. Пантелеев Д.А. полиармированные фибробетоны с использованием аморфнометаллической фибры.2016.с13
4. дс. ЧХИН С. МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ ФИБРОБЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ КАМБОДЖИ.2015.
5. ГОСТ 22266-94 «Цементы сульфатостойкие. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1995.
6. ОЗИНА В.Е МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОН С НАНОКРЕМНЕЗЕМОМ. 2015.
7. УДК 666.97 . ФИБРОБЕТОН ДЛЯ СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНОВ СТРОИТЕЛЬСТВА Гафарова Н.Е. с179 с180
8. УДК 691.328 Технологии и организации строительного производства . Т.Р. Баженова , А.В. Курочкин
9. ВСН 48-96 «Ведомственные строительные нормы по монтажу систем внутренней канализации». –М.: Департамент строительства, 1997.
10. ВСН 126-90 «Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов». –М.: Департамент строительства, 1991.
11. ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций». –М.: Департамент строительства, 1997.

12. ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 2014.
13. ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1987.
14. ГОСТ 969-91 «Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1992.
15. ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1993.
16. ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1995.
17. ГОСТ 9077-82 «Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1983.
18. ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1991.
19. ГОСТ 25818-91 «Золы уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1991.
20. ГОСТ 26644-85 «Щебень и песок из шлаков. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1986.
21. ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 2011.
22. ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонов и растворов. Общие технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1980.
23. УДК 693.547.3 «ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЕФИБРОБЕТОНА» *М.В.Молодцов* 1999.

24. Гост 26633-91«БЕТОНЫ ТЯЖЕЛЫЕ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ
25. Технические условия».- М.: Издательство стандартов,1992.

26. 25 Калашников, В.И. Геометрические параметры фибры для высокопрочных бетонов/ В.И. Калашников, Ю.П. Скачков, С.В. Ананьев, И.Ю. Троянов// Региональная архитектура и строительство. 2011. №1. – с. 27-33
27. Пухаренко, Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: Дис. … д-ра техн. наук/ Ю.В. Пухаренко: СПбГАСУ. – СПб, 2005. – 315 с.
28. Зотов, А.Н. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ФИБРОЙ: Дис. техн. Наук/ доцент, Соболев Г.М,2005.
29. Блещик, Н.П. Физико – механические и технологические свойства сталефибробетона, особенности применения и
30. перспективы развития сталефибобетонных конструкций / Н.П. Блещик, И.В. Коваль // Третий международный
31. симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона» 9 – 11.11.2011 г.
32. Клюев, А.В. Ориентация и распределение фибр в цементной матрице / А.В. Клюев, А.В. Нетребенко, А.В
33. Дураченко; Сборник научных трудов Sworld – 2014 г.
34. Л.М. ПАРФЕНОВА, М.С. КАЧАН. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ/Серия F СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ УДК,2011.
35. С ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫМИ ВОЛОКНАМИ
36. Ицкович, С. М**.** Технология заполнителей бетона : учебник для строит. вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкций» / С. М. Ицкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. – М. : Высш. шк., 1991. – 272 с.

37. Бочарников, А. С. Вероятное количество фибр, участвующих в работе разрушения сталефибробетонного образца / А. С. Бочарников, А. Д. Корнеев // Технологии бетонов. – 2005. – № 5. – С. 17–18.
38. Волков, И. В. Фибробетон : состояние и
39. перспективы применения / И. В. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – № 8. – С. 37–38.
40. И. А. Леонович, А. А. Леонович. ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА
41. НА СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНА: *Российского университета. 2007. № 3*-с148.
42. МОРГУН, Л. В. Структурообразование и свойства
43. фибропенобетонов неавтоклавного твердения: Дис. техн. Наук/ П.Г. КОМОХОВ,2005.
44. Дьяков К.В. Особенности технологии приготовления магнезиального базальтофибробетона // Бетон и железобетон. – 2007. – № 3. – с. 18.
45. Новицкий А.Г. Химическая стойкость базальтовых волокон для армирования бетонов.//
46. Хімічна промисловість України. 2003. №3, с. 16-19.
47. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, Науково-технічний збірник. – Випуск 36. –2010 р.
48. СИВАЛЬНЕВА, М. Н. ФИБРОПЕНОБЕТОН НА ОСНОВЕ
49. НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО: Дис. техн. Наук/
50. Строкова В.В.2005.
51. Политаева А.И. Наноструктурирование как способ повышения адгезионных свойств системы
52. «цементный камень – армирующее базальтовое волокно», Известия КГАСУ, 2015, № 2.
53. Андреевская Г.Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики. /М.: Наука, 1966. - 370 с.

54. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции./ М.: "Химия", 1982. - 232 с.
55. ГОСТ 52581 – 2006 «Ровинг из стеклянных нитей». / М.:
56. Страндартинформ. - 2012.
57. Баженов Ю.М.Технология бетона. – М.: Высш. шк.,1987, – 415 с.
58. Пантелеев Д. А. ПОЛИАРМИРОВАННЫЕ ФИБРОБЕТОНЫ
59. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМОРФНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФИБРЫ: Дис. техн. Наук/Ю.В. Пухаренко ,2005.
60. ПАРФЕНОВ А.В. Ударная выносливость бетонов на основе
61. стальной и синтетической фибры: Дис. … д-ра техн. наук/Б.В. Васильевич,2005.