

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ / CONSTRUCTION MATERIALS**

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2020.19.1>

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОКРЕТФИБРОБЕТОННОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ  
ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ**

Научная статья

**Голова Т.А.<sup>1</sup>, Андреева Н.В.<sup>2</sup>, Магеррамова И.А.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Балаковский инженерно-технологический институт (филиал НИЯУ МИФИ г.Москва), Балаково, Россия

\* Корреспондирующий автор (Emelyanova-tanya@mail.ru)

**Аннотация**

В статье представлены характеристики, влияющие на формирование токретфибробетонной матрицы и повышение физико-механических свойств за счет использования дисперсного армирования. Прочностные и деформативные характеристики бетона в современных условиях эксплуатации не всегда удовлетворяют поставленным требованиям и необходимо учитывать количество компонентов для формирования фибробетонной матрицы. Кроме этого важным фактором является использование прогрессивных методов укладки бетонной смеси, которым является токретирование. Получаемый токретфибробетон состоит из двух разнородных материалов: из токретбетона и фибры, имеет четкую границу раздела между ними, что положительно влияет на формирование матрицы.

**Ключевые слова:** Токретфибробетон, фибра, матрица токретфибробетона.

**FORMATION OF SHOTCRETE MATRIX BASED ON DISPERSED REINFORCEMENT**

Research article

**Golova T.A.<sup>1</sup>, Andreeva N.V.<sup>2</sup>, Magerramova I.A.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Federal State Autonomous educational institution "national research nuclear University " Moscow Institute of engineering and physics», Balakovo, Russia

\* Corresponding author (Emelyanova-tanya@mail.ru)

**Annotation**

The article presents the characteristics that affect the formation of shotcrete fiber matrix and increase the physical and mechanical properties due to the use of dispersed reinforcement. The strength and deformation characteristics of concrete in modern operating conditions do not always meet the requirements and it is necessary to take into account the number of components for the formation of a fiber-concrete matrix. In addition, an important factor is the use of advanced methods of laying concrete mix, which is shotcrete. The resulting shotcrete consists of two dissimilar materials: shotcrete and fiber, has a clear interface between them, which has a positive effect on the formation of the matrix.

**Keywords:** fiber shotcrete, fiber, matrix of fiber shotcrete.

За последние годы технология токретбетона из инновационной превратилась в классическую. Она применяется в ряде отраслей строительства для решения различных производственных задач, поэтому значительно вырос интерес к данной методике. Это связано в первую очередь с увеличением объемов ремонтных и строительных работ. В наше время токретбетон широко используется в мировой практике. Токретирование дает возможность создавать бетонные конструкции сложных форм без больших затрат, связанных с возведением опалубки. Поначалу метод токретирования наиболее широко применялся для ремонта железобетонных конструкций, но затем его достоинства оценили и компании, занимающиеся строительством новых сооружений. В настоящее время токретбетон применяется для структурного ремонта, создания огнеупорных покрытий металлических каркасов, строительства тоннелей, бассейнов, искусственных речных русел, куполов и оболочек.

Разработчики новых строительных материалов и конструкций занимаются проблемой увеличения прочностных и деформационных характеристик токретбетона. Одним из возможных способов решения этой проблемы является использование фиброармирования различными видами волокон. Фиброармирование дает возможность получить оптимальную структуру, характеризующуюся пониженной проницаемостью и улучшенными эксплуатационными свойствами.

Токретфибробетон представляет собой композиционный материал (КМ), так как состоит двух или более компонентов, имеющих различный химический состав, и разделенных выраженной границей. Состав, форма и распределение композиционных материалов запроектированы заранее. КМ являются неоднородными в микромасштабе, но однородными в макромасштабе, их свойства определяются свойствами каждого отдельного компонента, присутствующего в материале в достаточно больших количествах. Компонент, непрерывный во всем объеме КМ, называется матрицей, а прерывистый, разъединенный в объеме композиции – фиброй, являющейся армирующим элементом.

Торкретбетон, армированный фибровыми волокнами – это анизотропный композиционный материал (АКМ), состоящий из высокопрочных волокон в бетонной матрице. Волокна в АКМ - это главные несущие элементы, характеризующиеся высокой прочностью при растяжении. Торкретбетонная матрица защищает фибру от повреждений, обеспечивает ее ровность и распределяет нагрузку между отдельными волокнами композита.

Торкретфибробетон, технология его получения и применения в строительстве является инновационным вопросом, которым занимаются разработчики строительных материалов по всему миру. Для успешного использования торкретфибробетона необходимо оптимизировать параметры дисперсного армирования. Также большую роль играют характеристики используемых фибровых волокон: прочность, объемное содержание фибры в торкретбетоне, длина фибры  $L$ , ее диаметр  $d$  и соотношение  $L/d$ , профиль, качество поверхности.

Волокна фибры применяются в торкретфибробетоне как армирующие компоненты. Их использование увеличивает способность торкретфибробетона к пластической деформации, приводит к увеличению трещиностойкости, прочности при растяжении и изгибе, сопротивления к динамическим и температурным воздействиям. Частичная или полная замена классических арматурных стержней на фибровое армирование дает возможность снизить трудоемкость и сократить сроки строительства [1].

Использование фибры в торкретбетоне дает следующие преимущества:

- улучшение адгезии;
- уменьшение отскока смеси на 20-30%;
- устранение расслоения смеси;
- повышение водонепроницаемости и морозостойкости;
- снижение брака;
- снижение стоимости благодаря уменьшению расхода смеси.

Одним из факторов, влияющих на свойства торкретфибробетона, является относительная жесткость матрицы волокна. Предполагается, бетонная матрица передает действующую нагрузку армирующим волокнам посредством касательных сил. В том случае, когда модуль упругости армирующего волокна больше модуля упругости матрицы, основные напряжения воспринимаются этими волокнами, а общая прочность данного композиционного материала пропорциональна их объемному содержанию [8-11].

Второй фактор, влияющий на формирование матрицы торкретфибробетона - это выбор направления армирования. Главное отличие фибрового армирования от обычного в том, что обычная арматура расположена в заданном направлении, а при фибровом армировании волокна разнонаправлены и расположены случайным образом. Замечено, что волокна, располагающиеся параллельно действующей нагрузке, обеспечивают большую прочность, чем волокна, расположенные случайно или перпендикулярно действующей нагрузке [10-12].

Физико-механические свойства торкретфибробетона зависят от множества факторов (рис.1).

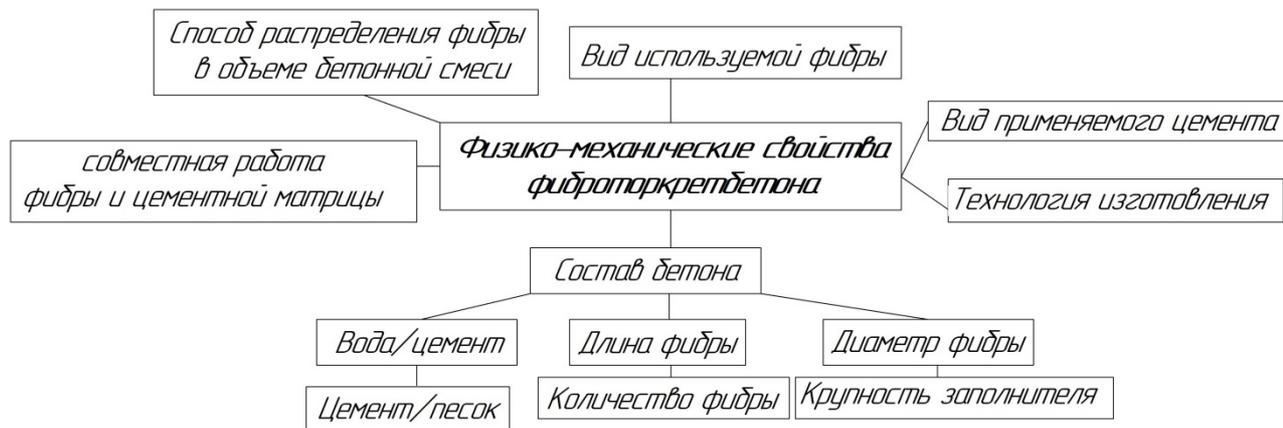


Рис.1 – Факторы, влияющие на физико-механические свойства фиброторкретбетона

Анализ литературы, рассматривающей вопросы фибрового армирования, показал, что физико-механические свойства торкретфибробетона зависят от как совместной работы цементной матрицы и армирующего волокна, так и от состава бетона и технологии его изготовления [7,8,10,11,14].

Стойкость фиброволокна к среде гидратирующегося цемента, наличие пластифицирующих и кремнеземсодержащих добавок, их вид и количество также оказывают влияние на физико-механические свойства торкретфибробетона [8].

Прочностные и деформативные характеристики бетона в современных условиях эксплуатации не всегда удовлетворяют поставленным требованиям. Торкретфибробетон полностью отвечает этим требованиям. Он состоит из двух разнородных материалов: из бетона и фибры, имеет четкую границу раздела между ними и обладает свойствами, которыми не обладает каждая составляющая в отдельности.

Введение в бетон усиливающих добавок в виде фибр приводит к значительному повышению рабочих и эксплуатационных характеристик материалов. Фибра позволяет сделать материал более прочным, скрепляя внутреннюю структуру своими волокнами.

Совместная работа бетона-матрицы и фибры происходит за счет сцепления по их поверхности или при помощи анкеров. Это относится ко всем видам фибр. Торкретфибробетон можно рассматривать в виде двух матриц. Это бетонная матрица – основная, и вспомогательная – матрица из армирующих волокон. Эти матрицы взаимодействуют друг с другом в процессе работы [13].

Выбор компонентов для торкретфибробетона необходимо производить в полном соответствии с требованиями действующих нормативных документов на каждый компонент. Это необходимо для получения торкретфибробетона в строительных конструкциях со следующими характеристиками, полностью соответствующим проектным: прочность на сжатие, остаточная прочность на растяжение при изгибе, водонепроницаемость, морозостойкость; расход цемента при этом должен быть минимальным.

Основными показателями качества торкретфибробетонной смеси являются:

- однородность (фибровое волокно распределено равномерно по всему объему бетона-матрицы);
- удобоукладываемость (подвижность) смеси;
- смесь не расслаивается.

При выборе типа и марки цемента необходимо учитывать:

- время с момента приготовления смеси до ее укладки (с учетом способа укладки или нанесения);
- технологию производства работ;
- вид и размеры строительных конструкций;
- экзотермию в процессе твердения;
- условия твердения и климатические характеристики;
- назначение строительных конструкций;
- условия эксплуатации строительных конструкций;
- щелочно-реакционную способность заполнителя.

Чтобы повысить прочностные характеристики торкретфибробетона, увеличить силу сцепления волокон фибры с бетоном, применяются ультра- и микродисперсные минеральные порошковые добавки:

- микрокремнезем;
- кварц молотый пылевидный по ГОСТ 9077 [16].

Свойства торкретфибробетона значительно отличаются от свойств обычного торкретбетона [14]. Прочность цементного камня и заполнителя, а также качество сцепления между ними определяют поведение при сжатии каждого из вышеперечисленных бетонов.

При добавлении стальных волокон в двух из трех факторов влияния (прочность зерен заполнителя и сцепление зерна – цементный камень), изменения не произойдут. В том случае, если цементный камень трескается при перегрузке, расположенные в нем волокна фибры начинают воспринимать усилия. При образовании первых мелких трещин внутренние усилия начинают постепенно распределяться от цементного камня на размещенные в нем фибровые волокна. При этом важнейшим фактором, влияющим на восприятие фибровыми волокнами возникших усилий, является сцепление между цементным камнем и волокном.

При нагружении торкретфибробетона до разрыва различаются три стадии:

1) цементный камень и зерна заполнителя пластически деформируются, но трещины не образуются. Более растяжимые волокна, чем цементный камень принимают участие в деформации без восприятия нагрузки;

2) в цементном камне образуются первые трещины. Волокна фибры принимают участие в восприятии нагрузки благодаря их сцеплению с цементным камнем. Фибра воспринимает усилия в большей степени в тех местах цементного камня, где появляются самые первые мелкие трещины, чем на поврежденных участках цементной матрицы. Поэтому она влияет на равномерное внутреннее распределение сил и на определенное повышение предела прочности на разрыв;

3) разрыв цементного камня. Фибровое волокно полностью воспринимает общую нагрузку. Разрушенные части бетона при этом объединяются между собой только фибровым волокном. Полный разрыв возникает лишь при полном преодолении общего сцепления волокон, для чего требуются весьма значительные усилия. Подобные усилия оказывает на торкретфибробетон квазиэластичная деформация, приводящая его к полному разрушению. В основном это эффект армированного стекла, делающий торкретфибробетон возможным для использования в различных строительных конструкциях. Пределы прочности при сжатии и растяжении повышаются в рамках влияния, описанного во 2-ой стадии, на образование первых внутренних трещин структуры. Литературные данные показали, что они составляют примерно 30% повышения прочности при сжатии и разрыве [15].

Учитывая влияние дисперсного армирования на формирование торкретфибробетонной матрицы и повышение за счет этого эксплуатационных качеств торкретбетона, его применение в строительстве зданий является перспективным направлением и может быть использовано при разработке несущих ограждающих конструкций.

**Список литературы/ References**

1. Копылов И.А. Применение торкрет-бетона в современном строительстве. Технологии бетонов, №1-2, 2017. – С. 13-15.
2. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2007. – 31 с.
3. Куликов А.В., Иванов В.П., Баев С.М. Исследование свойств и области применения торкрет-бетонов // ЗАО «Служба защиты сооружений», 2008.
4. EFNARC. (1999). European specification for sprayed concrete. Guidelines for specifiers and contractors. 31 p.
5. Tom Melbye, Ross Dimmock, Knut F. Garshol. (2006). Sprayed Concrete for Rock Support. 11th edition, December, 2006, 280 p.
6. Талантова, К.В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / К.В. Талантова. - Барнаул, 2009. - 32 с. 65.
7. Зотов А.Н. Структура и свойства модифицированных мелкозернистых бетонов с полипропиленовой фиброй. Диссертация на соискание уч.ст. к.т.н. – Кострома, 2016.
8. Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях // 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421).
9. Черепанова Е.Е., Поletaева Е.С. Новшества в строительстве: фибробетон // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2013. С. 42-46.
10. Vishal Pandurang Kumbhar Basalt Rock Fibers — New Construction Material // Acta Engineering International. 2014. №2 (1). С. 11- 18.
11. Розина В.Е. Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Место защиты: ФГБОУ ВПО Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. 2015. С. 146.
12. Жаворонков М. И. Развитие методов определения характеристик трещиностойкости фибробетона / диссертация кандидата технических наук // Место защиты: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 199.
13. Вереvичева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. //Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение», вып. 82. 2015.
14. Куражова В.Г. Эксплуатационные качества ограждающих конструкций с защитным слоем из фиброторкретбетона. Дисс. На соиск. степ. магистра техники и технологии строительства. – СПбПУ, 2013. – 65 с.
15. Vandewalle M. Tunnelling the World, NV Beckaert SA, Zwevegem, Belgium, 1996.
16. ГОСТ 9077-82. Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2) (действующая редакция).

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Kopylov I.A. Primeneniye torkret-betona v sovremennom stroitel'stve. Tekhnologii betonov, №1-2, 2017. – S. 13-15.
2. Rukovodstvo po primeneniyu torkret-betona pri vozvedenii, remonte i vosstanovle-nii stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2007. – 31 с.
3. Kulikov A.V., Ivanov V.P., Baev S.M. Issledovanie svojstv i oblasti primeneniya torkret-betonov // ZAO «Sluzhba zashchity sooruzhenij», 2008.
4. EFNARC. (1999). European specification for sprayed concrete. Guidelines for specifiers and contractors. 31 p.
5. Tom Melbye, Ross Dimmock, Knut F. Garshol. (2006). Sprayed Concrete for Rock Support. 11th edition, December, 2006, 280 p.
6. Talantova, K.V. Stroitel'nye konstrukcii s zadannymi svojstvami na osnove stale-fibrobetona: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / K.V. Talantova. - Barnaul, 2009. - 32 s. 65.
7. Zotov A.N. Struktura i svojstva modifitsirovannyh melkozernistyh betonov s po-lipropilenovoj fibroj. Dissertaciya na soiskanie uch.st. k.t.n. – Kostroma, 2016.
8. Belousov I.V., SHilov A.V., Meretukov Z.A., Mailyan L.D. Primeneniye fibrobetona v zhelezobetonnyh konstrukciyah // 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421).
9. SHerepanova E.E., Poletaeva E.S. Novshestva v stroitel'stve: fibrobeton // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. 2013. S. 42-46.
10. Vishal Pandurang Kumbhar Basalt Rock Fibers — New Construction Material // Acta Engineering International. 2014. №2 (1). С. 11- 18.
11. Rozina V.E. Melkozernistyj bazal'tofibrobeton s nanokremnezemom / dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk // Mesto zashchity: FGBOU VPO Vostochno-Sibirskij gosudarstvennyj universitet tekhnologij i upravleniya. 2015. S. 146.
12. ZHavoronkov M. I. Razvitie metodov opredeleniya harakteristik treshchinostojkosti fibrobetona / dissertaciya kandidata tekhnicheskikh nauk // Mesto zashchity: FGBOU VO Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2017. S. 199.
13. Verevicheva M.A., Berestyanskaya A.A., Derizemlya S.V. Vybor racional'nyh parametrov fibrovogo armirovaniya. //Sbornik nauchnyh trudov «Stroitel'stvo, materialo-vedenie, mashinostroenie», vyp. 82. 2015.
14. Kurazhova V.G. Eksploatacionnye kachestva ograzhdayushchih konstrukcij s zashchitnym sloem iz fibrotorkretbetona. Diss. Na soisk.step.magistra tekhniki i tekhnologii stroitel'stva. – SPGPU, 2013. – 65 s.

15. Vandewalle M. Tunnelling the World, NV Bekaert SA, Zwevegem, Belgium, 1996.
  16. GOST 9077-82. Kvarc molotyj pylevidnyj. Obshchie tekhnicheskie usloviya (s Izmene-niyami N 1, 2) (deystvuyushchaya redakciya).
- 
-