

КОНЦЕПЦИЯ ДОБАВЛЕННОГО СЛОЯ ИЗ СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОГО ФИБРОБЕТОНА ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ

Термин «сверхвысокопрочный фибробетон» в России принят для класса материалов, обозначаемого по международной классификации как UHPC (ultra high performance concrete). В специальной технической литературе, как правило, используется более полное и точное название – UHPFRC (ultra high performance fiber reinforced concrete). Данный класс выделился в самостоятельный в 1990-х годах, когда во Франции был создан материал Ductal®. В настоящее время компания ЛафаржХолсим, оставаясь одним из мировых лидеров среди разработчиков и производителей UHPFRC, выпускает несколько модификаций Ductal®, предназначенных для различных условий применения.



И.М. Сапронов, директор
ООО «Сервис-МОСТ»

Материалы данного класса отличаются высоким уровнем прочностных характеристик на сжатие и растяжение, а также высокими показателями долговечности. Это обеспечивается совместной работой высококачественной сверхплотной цементной матрицы и значительного по объему специально подобранного металлического фибрового армирования. Появление нового класса материалов UHPFRC открыло ряд особых возможностей для мостостроительной отрасли – и для эксплуатируемых сооружений, и для вновь возводимых.

Публикуемая ниже в русскоязычной версии статья швей-



Р.С. Чурилов, руководитель направления
Ductal® ЛафаржХолсим Россия

царского профессора Ойгена Брювилера касается как методических, так и некоторых практических вопросов применения сверхвысокопрочного фибробетона (UHPFRC). В ней рассмотрен один из наиболее эффективных и часто реализуемых вариантов его применения для эксплуатируемых мостовых сооружений – в виде так называемого «добавленного слоя» к несущим или иным железобетонным конструкциям. Такие слои применяются для различных целей, например для усиления стоек опор, повышения сейсмостойкости сооружений. Однако, как показывает практика, наиболее эффективно возможно применения материала в настоящее время

раскрываются в технических решениях, предназначенных для железобетонных плит проезжей части. Эти решения могут быть направлены на усиление конструкций, ремонт или восстановление их целостности, создание надежного и долговечного влагонепроницаемого слоя и пр.

Направление, связанное с применением добавленного слоя из UHPFRC для плиты проезжей части, наиболее активно развивалось в Швейцарии при участии автора публикуемой ниже статьи. Затем эта концепция получила развитие и в нескольких других странах.

Основные свойства материалов класса UHPFRC приведены в статье, опубликованной в предыдущем номере журнала [1]. Для целей настоящей публикации отметим, что современные критерии отнесения материала к классу UHPFRC следующие:

- нормативное значение прочности на сжатие, как правило, не менее 150 МПа;
- нормативное значение прочности на растяжение до образования трещин – не менее 7 МПа;
- выполнение требования о достаточном уровне прочности при работе на растяжение при значительных деформациях после начала образования трещин.

Материал обладает также высокими характеристиками, способствующими долговечности: минимальной пористостью, высокой водонепроницаемостью, значительно повышенной морозостойкостью, более существенной стойкостью к хлоридам, а также к истиранию.

По материалам, имеющим фибровое армирование, в том числе сталефибробетонам, в нашей стране имеется значительный опыт исследований и применения (особенно в ПГС). Для специалистов это создает определенную базу для квалифицированного понимания возможного места UHPFRC в ряду армированных конструкций из бетона. При этом надо иметь в виду весьма существенные отличия UHPFRC от обычных сталефибробетонов.

Принципиально важным отличием является работа материалов UHPFRC на растяжение. Оно проиллюстрировано на рис. 1, где для сравнения приведены реальные уровни средних величин характерных напряжений в различных материалах, включая UHPFRC, при одноосном растяжении.

Обычный бетон не обладает сопротивлением растяжению после образования трещин. Его разрушение после трещинообразования имеет хрупкий характер. Фибробетоны, имея процент дисперсного армирования (фиброй), по объему не превышающий 1,0%, обладают возможностью восприятия некоторых растягивающих напряжений и после начала трещинообразования. В таком количестве фибра позволяет только несколько снизить хрупкость, то есть обеспечить возможность значительных деформаций под действием растягивающих напряжений без мгновенного разрушения.

Материалы класса UHPFRC имеют более высокое сопротивление растяжению (до начала трещинообразования), а также позволяют обеспечить выраженный пластический характер работы на растяжение после начала трещинообразования.

При использовании в качестве добавленного слоя, как правило, применяется UHPFRC с высоким содержанием фибры – 3,0% и более. Такой уровень фибрового армирования позволяет обеспечить наличие в диаграмме

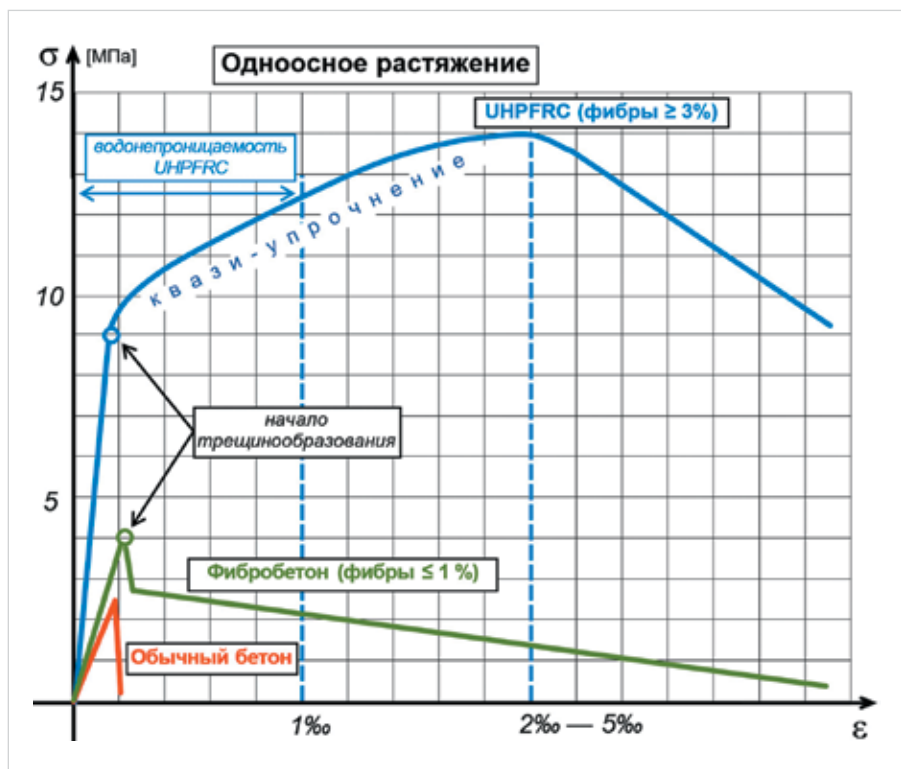


Рис. 1. Схематические зависимости напряжения - деформации для бетона без армирования, фибробетона и UHPFRC при одноосном растяжении: σ - напряжения; ε - относительные деформации

состояния существенной зоны так называемого квазиупрочнения, важной для рассматриваемого применения материала. Распределенная по всему объему стальная фибра при достаточных собственной прочности и заделке в матрицу полностью воспринимает растяжение в полости зародившейся трещины, не позволяя ей резко увеличиваться.

Таким образом, в железобетонных и обычных фибробетонных конструкциях возможность контролировать раскрытие трещин имеется только на макроуровне, поскольку трещины после образования сразу заметно раскрываются. В UHPFRC с зоной квазиупрочнения – иная ситуация: после образования трещины практически не раскрываются, то есть сдерживаются фиброй на микроуровне, и до определенного уровня относительных деформаций (до 1‰) сохраняется герметичность материала (капиллярный эффект не проявляется).

В статье профессора Брювилера наглядно демонстрируется концеп-

ция добавленного слоя UHPFRC, который восстанавливает поврежденные верхние слои железобетонных конструкций пролетных строений, имеет прочное сцепление с этими конструкциями и способен заменить выравнивающий слой, гидроизоляцию и защитный слой. Отмечается также, что слой UHPFRC может обеспечивать заметное увеличение прочностных характеристик усиленного им конструктивного элемента.

Известно, что для применения в добавленном слое составы UHPFRC имеют определенную специфику. Как отмечено выше, они ориентированы на высокое содержание металлической фибры. Наличие описанной выше зоны квазиупрочнения позволяет воспринимать как напряжения от внешних нагрузок, так и напряжения от стесненной усадки, без образования трещин нежелательного раскрытия. Реология смесей может варьироваться от самоуплотняющихся высокоподвижных до тиксотропных (для применения на наклонных поверхностях).



Рис. 2. Тиксотропный состав Ductal® в состоянии смеси в процессе работ в московской лаборатории ЛафаржХолсим

Применение сверхвысокопрочного фибробетона в добавленном слое для плит проезжей части (причем не только железобетонных) компания ЛафаржХолсим рассматривает как одно из приоритетных для материала Ductal® в России.

Потенциально это решение перспективно для российских условий, на что указывает анализ технического состояния эксплуатируемых мостовых автодорожных и городских сооружений. Иметь подобный инструмент для эффективного и технологичного ремонтного воздействия представляется весьма полезным. Это способно значительно расши-

рить инструментарий при выборе рациональной стратегии проведения ремонтных/восстановительных мероприятий.

Особое значение данная технология имеет для мостовых сооружений, эксплуатируемых в городских условиях. Как показывает зарубежный опыт, сроки перекрытия движения по сооружениям при использовании данной технологии могут быть кардинально сокращены, а межремонтные периоды – увеличены.

С 2019 года ЛафаржХолсим проводит комплексную НИОКР с целью разработки необходимого научно-исследовательского и

нормативного обоснования применения Ductal® для несущих конструкций в России. Основной исполнитель работ – научно-исследовательская организация «Сервис-МОСТ», специализирующаяся в области исследований и разработок по армированным конструкциям из бетона. К выполнению работ привлекаются ведущие российские научно-исследовательские, проектные и строительные организации. Направление, связанное с обеспечением эффективного применения добавленного слоя, является важной частью этой работы.

В настоящее время по этому направлению выполняется отработка

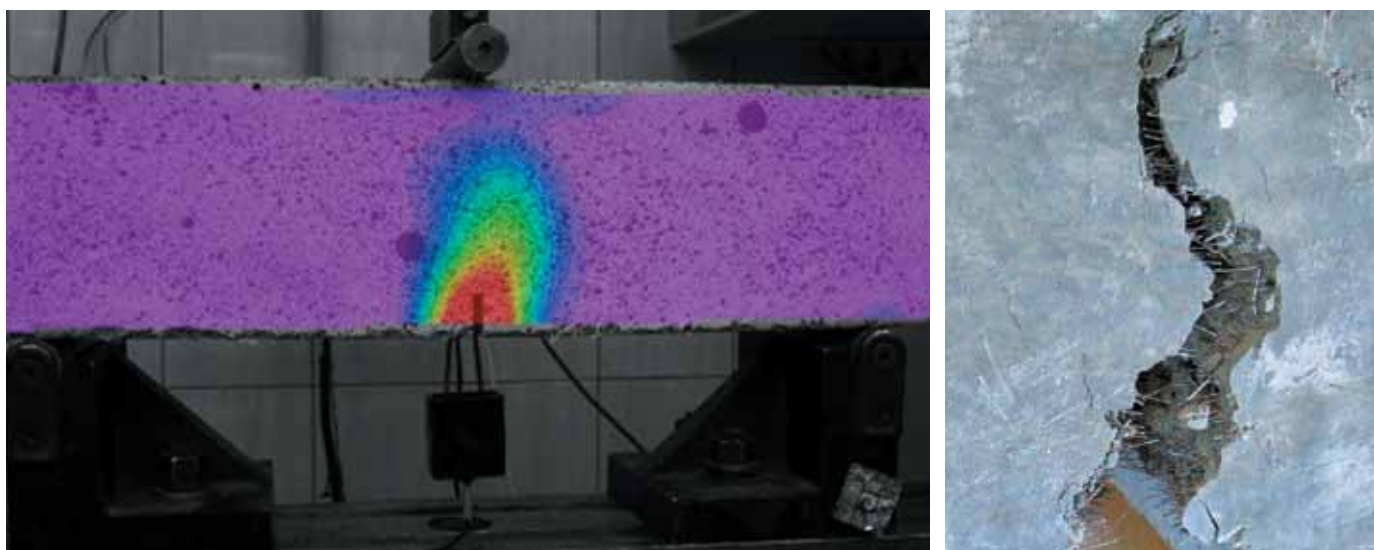


Рис. 3. Испытания стандартных образцов из тиксотропного состава Ductal® (содержание фибры более 3%) в российской специализированной лаборатории

ряда вопросов по самому материалу (рис. 2, 3), включая вопросы по изготовлению смеси в производственных условиях, методические вопросы испытаний стандартных образцов, проработку вопросов по испытаниям этих образцов. В дальнейшем будут проведены испытания образцов конструкций с добавленным слоем. Нормативную базу предполагается начать формировать посредством разработки СТО (с учетом специфики материалов для применения в добавленном слое) и разработки СТУ для условий конкретных объектов.

Несомненно, следует учитывать значительный зарубежный опыт. В 2000-х годах были проведены большие исследовательские работы по обоснованию данного технического решения. Решение прошло апробацию и реализовано на многих объектах. В результате разработаны соответствующие нормативные документы на проектирование, например швейцарский стандарт SIA 2052:2016.

В то же время российские условия имеют свою специфику. Это, прежде всего, касается традиционных массовых конструктивных и технологических решений пролетных строений мостов, климатических факторов и прочего. Кроме того, имеется определенный опыт применения в плитах проезжей части ординарных фи-

бробетонов. Оценки этого опыта весьма неоднозначны. Несмотря на то, что UHPFRC – материал с иными свойствами, его применение в плитах проезжей части, возможно, будет сопряжено с преодолением некоторых сложившихся в результате предшествующей практики представлений и даже предубеждений.

В связи с этим должны быть в достаточном объеме проведены собственные (российские) обосновывающие исследования. Также необходимо проведение адаптации регламентов, технических решений и нормативных документов. В частности, для российских условий применения должны быть подтверждены вопросы, касающиеся совместности работы добавленного слоя с основными несущими конструкциями (в том числе под действием статических, динамических и циклических нагрузок, долговременных процессов, замораживания и оттаивания).

Отдельные положения статьи профессора Брювилера и само техническое решение для российских специалистов могут выглядеть полемично. Однако статья и не претендует на предоставление исчерпывающей информации по теме. В ней не рассматриваются все аспекты применения добавленного слоя из UHPFRC и не приво-

дятся подробные обоснования тех или иных технических решений. Прежде всего, она информирует о достигнутом уровне использования добавленного слоя в мостовых сооружениях.

Более подробная информация о рассматриваемом применении материала содержится в многочисленных публикациях, например [2–10]. Для специалистов, заинтересованных в более подробном ознакомлении с темой, компания ЛафаржХолсим готовит специальный семинар, в котором примет участие профессор Брювилер. Информация о семинаре будет дополнительно представлена на сайте компании www.lafargeholcimrus.ru.

Авторы настоящего предисловия выражают благодарность сотруднику ООО «Сервис-МОСТ» А.В. Агееву за участие в техническом редактировании перевода статьи профессора О. Брювилера.



LafargeHolcim

тел. 8 800 500-12-03
www.lafargeholcimrus.ru

Список литературы:

1. Сапронов И.М., Чурилов Р.С., Бернарди С. О применении сверхвысокопрочного фибробетона DUCTAL® в российском мостостроении // Дорожная держава, 2020, № 94. – с.78–85.
2. K. Habel, E. Denarié, E. Brühwiler. Structural Response of Elements Combining Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes and Reinforced Concrete – 2006. – 8 p. [Электронный ресурс]: URL: <https://ascelibrary.org/>
3. K. Habel, J.-P. Charron, E. Denarié, E. Brühwiler. Autogenous deformations and viscoelasticity of UHPFRC in structures. Part I: experimental results // Magazine of Concrete Research. – April, 2006. – p. 135–145.
4. K. Habel, J.-P. Charron, E. Denarié, E. Brühwiler. Autogenous deformations and viscoelasticity of UHPFRC in structures. Part II: numerical Modelling // Magazine of Concrete Research. – April, 2006. – p. 147–156.
5. J.-P. Charron, E. Denarié, E. Brühwiler. Transport properties of water and glycol in an ultra high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) under high tensile deformation // Cement and Concrete Research. – 2008. – № 38. – p. 689–698.
6. T. Makita, E. Brühwiler. Tensile fatigue behaviour of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC) // Materials and Structures. – 2014. – № 47. – p. 475–491.
7. K. Habel, E. Denarié, E. Brühwiler. Time dependent behavior of elements combining ultra-high performance fiber reinforced concretes (UHPFRC) and reinforced concrete // Materials and Structures. – 2006. – № 39 – p. 557–569.
8. S. Bernardi, D. Jacomo, F. Boudry. Overlay Ductal®: a durable solution for bridges retrofitting // First International Interactive Symposium on UHPC, DOI: 10.21838/uhpc.2016.119. – January, 2016. – 9 p. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.researchgate.net/publication/305997097>.
9. H. Wibowo, S. Sriharan. Use of Ultra-High-Performance Concrete for Bridge Deck Overlays. Bridge Engineering Center Institute for Transportation Iowa State University. – 2018. – 76 p. [Электронный ресурс]: URL: <http://publications.iowa.gov/27040/>
10. N. Dean, C. Stevens, J. Hastings, Delaware Department of Transportation Bridge. Design Accelerated Bridge Construction Methods for Bridge 1-438 Replacement. – 2018. – 10 p. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.extension.iastate.edu/>, <https://abc-utc.fiu.edu/mc-events/abc-methods-for-delawares-all-precast-bridge-1-438/>