

ПОВЕДЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ НА АВТОДОРОЖНЫХ МОСТАХ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ДВИЖЕНИИ И ТРАНСПОРТА

А.В. БУСЕЛ,
д.т.н., профессор, декан факультета транспортных коммуникаций
Белорусского национального технического университета

Р.Г. КРОТОВ,
директор ООО «Прогрессивные технологии бетона»

Т.А. ЧИСТОВА,
к.т.н., доцент Белорусского национального технического университета

На дорогах с высокой интенсивностью движения транспорта в Республике Беларусь широко применяются деформационные швы (ДШ) с резинометаллическими компенсаторами, которые крепятся к бетонному армированному основанию с помощью заделанных в него шпилек. Вследствие действия динамических нагрузок на ДШ шпильки получают значительное напряжение, что приводит к разрушению ими бетонного основания. В связи с этим потребовалось разработать высокопрочный бетон, способный компенсировать динамические нагрузки.

В статье рассмотрено влияние активных мелкодисперсных наполнителей и фибры на прочность бетона. Приведены результаты экспериментальных исследований комплексного упрочнения бетона и эффективной технологии устройства оснований для ДШ.

Введение

Деформационные швы (ДШ) автодорожных мостов являются важными элементами мостового полотна, и от их надежности и долговечности во многом зависит срок службы всего мостового сооружения. Состояние ДШ оказывает большое влияние также на комфортность и безопасность дорожного движения [1].

На конструкции ДШ воздействуют природно-климатические факторы; транспортные нагрузки, непосредственно контактирующие с элементами ДШ; эксплуатационные факторы, главным образом при очистке от снега и льда; деформации при перемещении концов пролётных строений мостов.

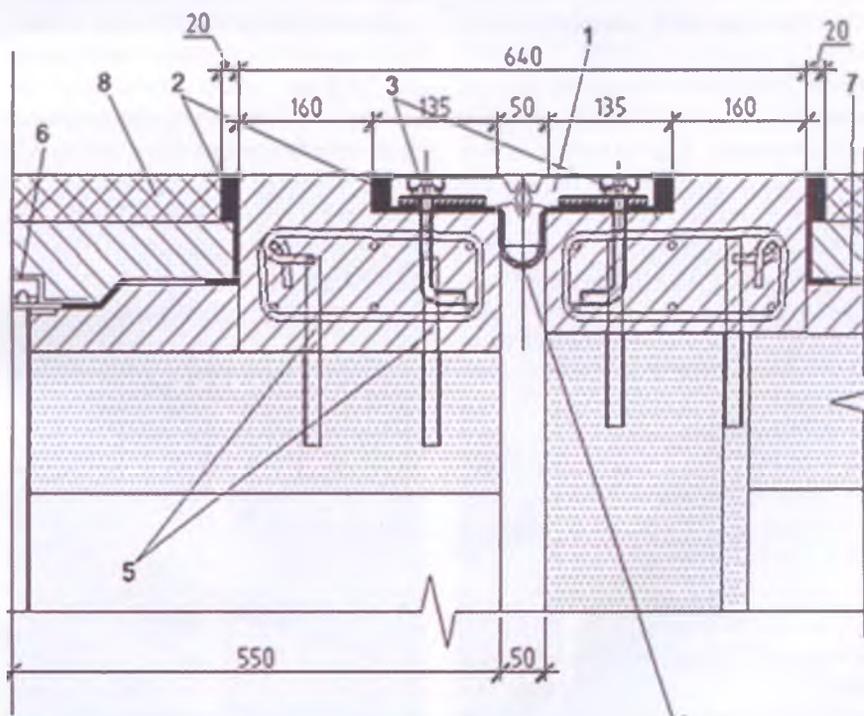


Рисунок 1. Деформационный шов КРМ-60.
1 – резинометаллический компенсатор КРМ-60; 2 – герметик; 3 – шпильки; 4 – пластина резиновая; 5 – анкеры; 6 – дренаж; 7 – гидроизоляция; 8 – покрытие.

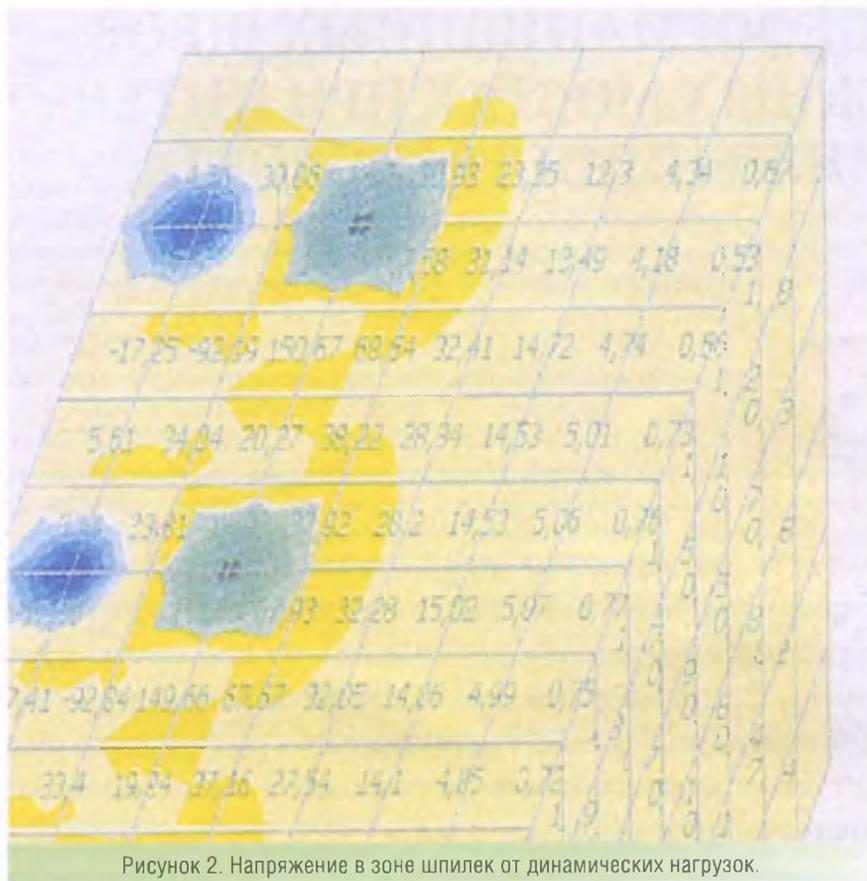


Рисунок 2. Напряжение в зоне шпилек от динамических нагрузок.

Конструкция деформационных швов

Согласно [2] конструкция современного, ДШ должна обеспечивать высокую их прочность, надежность и долговечность. Расчетный срок службы в реальных условиях эксплуатации должен быть не менее 20 лет [3].

В настоящее время на участках дорог высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта в Республике Беларусь наиболее широко применяются ДШ с резино-металлическим компенсатором (рисунок 1) [4].

Крепление данных деформационных швов к мостовым и дорожным конструкциям осуществляется при помощи болтового соединения следующим образом. В бетонное армированное основание заделываются шпильки, которые привариваются к арматуре. При помощи гаек резиноме-

таллические элементы притягиваются к бетонному основанию.

Вследствие действия больших динамических нагрузок на ДШ от транспорта шпильки воспринимают значительные напряжения (рисунок 2).

При этом в бетоне накапливаются пластические деформации и в месте контакта шпильки с бетоном наблюдаются его разрушения. Для предотвращения этого явления необходимо, чтобы напряжения не превосходили величины равной 20% от расчетной прочности бетона [5], что определяет упругую стадию его работы.

Из представленных на рисунке 2 данных видно, что напряжения в бетоне в зоне шпилек составляет в среднем 21 МПа (синий цвет). Бетон, который может работать в упругой стадии, должен иметь прочность более 100 МПа. Было предложено ис-

пользовать высокопрочный бетон (ВБ), который позволит без разрушений воспринимать изгиб шпилек в зоне их заделки.

В Республике Беларусь к высокопрочным бетонам (ВП) относятся бетоны класса по прочности В45 и выше [6]. Чтобы получить такой бетон нужно непосредственно на месте бетонирования обеспечить нормальное протекание сложных коллоидно-химических и физических процессов [7], на которые влияют многочисленные технологические и погодно-климатические факторы, качество используемых материалов.

Материалы для вибрационных швов

К материалам для ВБ предъявляются повышенные требования. Известно, что механические свойства крупного заполнителя, его форма и размер зерен, а также химическое взаимодействие между заполнителем и цементной матрицей оказывают существенное влияние на прочность ВБ [8]. Верхняя и нижняя граница размеров зерен заполнителя должны быть определены таким образом, чтобы была достигнута наибольшая плотность наполнения объема бетона и тем самым снижены внутренние напряжения, вызванные неоднородностью структуры. Для ВБ рекомендуется использовать базальтовый, габбровый или гранитный щебень [9].

В качестве мелкого заполнителя в ВБ используются природные крупные и среднезернистые пески. Доля песка в смеси заполнителей должна составлять от 0,32 до 0,25 и понижаться с увеличением расхода цемента и увеличением требуемой прочности бетона.

Зерно щебня



Переходная зона

Рисунок 3. Структура бетонной смеси.

В качестве вяжущего в ВБ используется цемент с активностью не менее 50 МПа и нормальной плотностью более 25%. Важнейшими характеристиками используемых в ВБ цементов являются — минералогический состав клинкера, размер и соотношение зерен цемента.

Прочность цементного камня напрямую зависит от водоцементного отношения (В/Ц). Для стабильности показателей прочности бетона величина В/Ц должна быть постоянной и не превышать 0,4, за счет чего уменьшается пористость и повышается прочность цементного камня [9].

В последнее время для получения ВБ применяют вяжущее низкой водопотребности (ВНВ), которое является высокомарочным вяжущим. Его марки лежат в пределах М 700-1000 [5].

Способы улучшения структуры бетона

Даже при оптимальном подборе исходных материалов структура бетона может иметь дефекты. Если рассмотреть физическую модель бетона, предложенную Е.А. Гузеевым, К.А. Пирадовым, С.Н. Леоновичем [10], то она имеет вид пространственной системы разномасштабных

зерен (клинкера, песка, щебня) со связями взаимоприжатия в виде активных сил, созданных физическими и химическими процессами, происходящими в результате гидратации цемента.

Эта структура ВБ неоднородна, на границе раздела заполнитель-цемент имеются полости контактов [11], которые являются концентраторами напряжений и способствуют снижению прочности бетона (рисунок 3).

Противостоять этим негативным явлениям можно путем усиления связей между структурными элементами бетона. Для этих целей используют различные спосо-

бы дисперсного армирования в зоне контакта, активации и модифицирования контактирующих поверхностей минеральных материалов, клинкерных составляющих и новообразований.

В публикации [12] предложена обработка крупного заполнителя неорганическим активатором в виде солей поливалентных металлов (Me+n). Исследование электрокинетических характеристик гранитного щебня показало, что обработка его поверхности водными растворами солей указанных металлов приводит к изменению ξ -потенциала минеральной поверхности и к перезарядке поверхности с отрицательного знака на положительный знак. Это существенно меняет ее физико-химические параметры при взаимодействии с цементным камнем и обеспечивает прирост прочности бетона, причем в более раннем возрасте [12]. Созданию прочной кристаллогидратной тоберморитовой структуры цементного камня способствует образование соединений состава $2CaSiO_2 \cdot mMe \cdot nH_2O$. При использовании



Рисунок 4. Конструкция ДШ с резинометаллическим компенсатором. Заполнение полостей ВБ.

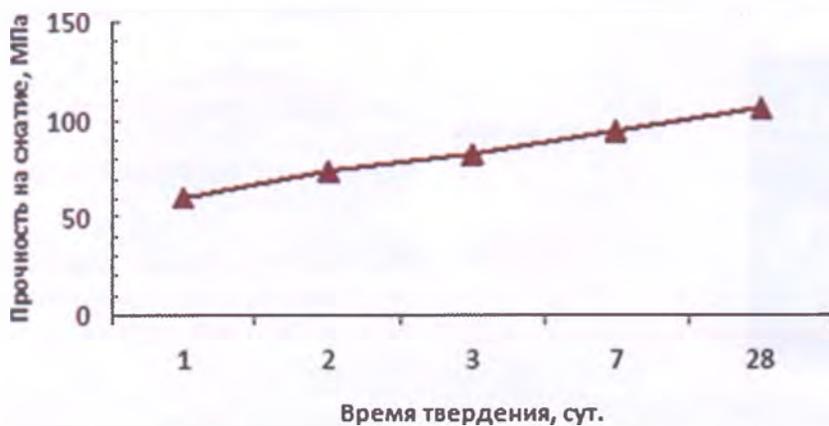


Рисунок 5. Изменение прочности бетона во времени.

активированного щебня наблюдается рост прочности бетона на 30 – 35%.

Для устранения микродефектов в структуре цементного камня в него вводят мелкодисперсные наполнители. В качестве наполнителей для ВБ применяются микрокремнезем в виде порошка или водной суспензии, золунос, метакаолин [13]. В некоторых случаях применяются кварцевая или известковая мука. Благодаря своим микро-размерам зерна наполнителя, вступившего во взаимодействие с цементом, уплотняют структуру бетона.

Хороший результат дает совместное использование в качестве наполнителя микрокремнезема и золы-уноса. Вследствие различия в размерах частичек этих наполнителей достигается более плотная структура матрицы, что особенно благотворно влияет на стойкость бетона к агрессивному воздействию окружающей среды. Установлено, что количество микрокремнезема не должно превышать 10% от массы цемента, причем даже 2% от массы цемента достаточно, чтобы значительно увеличить прочность и улучшить свойства бетона [14].

Следует отметить, что с повышением прочности

бетона растет и его хрупкость, снижаются пластично-деформационные свойства, что влечет за собой практически мгновенное разрушение материала при достижении им предельного состояния. При динамическом воздействии транспорта на элементы ДШ могут возникнуть напряжения, вызывающие также разрушения бетонного основания. Предотвратить эти явления можно с помощью введения в ВБ дисперсной арматуры (фибры) [15].

Актуальным направлением получения высококачественных цементных бетонов, отличающихся более широким спектром функциональных возможностей, является использование комплексных многокомпонентных добавок, сочетающих в себе индивидуальные добавки различного функционального назначения. Так в исследованиях, содержащихся в диссертационной работе [16], в качестве компонентов комплексных модификаторов высокопрочного дисперсно-армированного бетона предлагаются тонкодисперсные добавки — наполнители с высокими пуццолантическими свойствами, на основе молотых техногенных отходов камнедробления природных материалов, в сочетании с супер- и ги-

персуперпластификаторами и армирующими волокнами. Дисперсное армирование позволяет модифицировать бетон на двух уровнях: микроуровне — уровне цементной матрицы и макроуровне — уровне цементного бетона. Двухуровневое дисперсное армирование бетона рассматривается как эффективное средство повышения прочности при сжатии и растяжении, трещиностойкости и ударной вязкости.

Исходя из изложенного перспективным способом получения ВБ, обладающего требуемой прочностью для восприятия динамических нагрузок, является введение в состав смеси активированных заполнителей, активных мелкодисперсных наполнителей и армирующей фибры, что позволит упруго воспринимать усилия, передаваемые от ДШ на шпильки крепления.

Экспериментальные и натурные исследования

На основании теоретических предпосылок было предложено новое техническое решение [17], включающее, крепление деформационного шва к балкам пролетного строения посредством шпилек, погруженных в основание из фибробетона, заполняющего полости сопрягающихся участков.

Данное техническое решение апробировано на Минской кольцевой автодороге (рисунок 4). Согласно ему в полость устанавливался каркас из арматуры, к которому приваривались шпильки, а затем она заполнялась бетонной смесью следующего состава; кг/м³:

портландцемент М 550 — 550;
 вода — 135,2;
 активированный щебень фр.



Рисунок 6. Минская кольцевая, км 8 (ДШ устроен в 2008 г.).

10 – 16 – 800,0,
6,3 – 10 – 350,0,
4 – 6,3 – 150,0,
2 – 4 – 50,0;
песок природный – 500,0;
микрокремнезем – 10% от массы цемента;
фибра – 2% от массы цемента;
пластифицирующие добавки – 1,3% от массы цемента.

Бетонная смесь имела следующие показатели:

отношение В/Ц 0,246
осадка конуса 16 – 20 см

Результаты механических испытаний ВБ на сжатие показали, что в нем наблюдается активный прирост прочности, что подтверждает теоретические предпосылки об эффективности введения активных мелкодисперсных наполнителей, активированного щебня и армирующей фибры (рисунок 5).

В результате был достигнут требуемый уровень прочности ВБ, который составил 106 МПа в 28 суточном возрасте.

Экспериментальный ДШ хорошо себя зарекомендовал после семи лет эксплуатации (рисунок 6) под тяжелой транспортной нагрузкой (интенсивность движения до 100 тыс. автомобилей в сутки).

Заключение

1. Исследования подтвердили теоретические предположения, что совместное использование активированного заполнителя, активной мелкозернистой добавки и фибры позволяет получить ВБ, способный упруго воспринимать динамическую транспортную нагрузку.

2. ВБ данного состава характеризуется интенсивным набором прочности, в первые трое суток, прочность достигает 80 МПа, что позволяет в короткие сроки открыть автомобильное движение по дороге.

3. Эксплуатация таких швов не требует больших затрат на их обслуживание и ремонт, поскольку обеспечивается совместная работа всех элементов ДШ и его крепления к мостовым конструкциям.

Список использованных источников

1. Ефанов, А.В. Статический и динамический расчет деформационных швов автодорожных мостов. /А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников.// Вестник ВОЛГГАСУ. Сер. стро и archit. – 2006. Вып. 6 (21) – С.34-37.
2. Ефанов, А.В. Деформационные швы автодорожных мостов. Особенности конструкции и работы. Учебное пособие. /А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников, В.И. Шестериков, В.И. Макаров. Учебное пособие для студентов специальностей 291000, 291100; Саратов, 2005. – 124 с.
3. Köster, W. The functioning and operation of the modern modular expansion joint system / W. Köster, S. Brown // Rep. on Third World Congress on Joints and Bearings, Toronto, Canada, Oct. - Nov., 1991. – Электронный ресурс: <http://www.techstar-ino.com/artman/uploads/t1030402.pdf>, 2005, – 15 p.
4. Рубцова, Т.А. Конструкция деформационного шва с резинометаллическим компенсатором КРМ-120, обеспечивающим перемещения до 120 мм / Т. А. Рубцова, В. А. Зверинский, Р. Г. Кротов // Автомобильные дороги и мосты – 2013/ № 1 (11). С. 90 – 95.
5. Микульский, В.Г. Строительные материалы. Материаловедение. Учеб. из-

дание./ В.Г. Микульский – М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2004. – 536 с.

6. Бетоны. Классификация. Общие технические требования. СТБ 1310-2002 Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск 2002.

7. Урханова, Л.А. Применение золы терриконов в качестве активной минеральной добавки в легком высокопрочном бетоне / Л.А. Урханова, А.С. Ефременко// Научно-технический и производственный журнал. Строительные материалы – 2012 (685). –№ 1. – С. 31-33.

8. Шевченко, В.А. Технология применения специальных бетонов. Учебное пособие. /В.А. Шевченко – Сибирский федеральный университет, 2012, Изд. «Перспект» 2015 – 155 с.

9. Мещерин, В.А. /Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения //«СтройПРОФиль» Рубрика: бетонный жби: технологии и оборудованье. 2008. – № 8-08. – С.32-35.

10. Гузев, Е.А. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики / Е.А. Гузев. Брест: БрПИ, 1999 – 218 с.

11. С.Н. Леонович. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов. Мн.: БИТУ. 1999. 46 с.

12. Бусел А.В., Чистова Т.А., Киселев В.В. / Активация крупного заполнителя – резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона// Технологии бетонов. Материалы – 2009. – № 7-8. – С. 28-30.

13. Зайцев, И. Н. Высокопрочный бетон / И.Н.Зайцев// «СтройПРОФиль» Рубрика: бетоны и жби: технологии, оборудованье. № 8-07. – 2007

14. Шевченко, В.А. Технология применения специальных бетонов. Учебное пособие. /В.А. Шевченко – Сибирский федеральный университет, Изд. «Перспект» 2015 – 155 с.

15. Голубев, В.Ю. Высокопрочный бетон повышенной вязкости. Автореферат дис. канд. техн. наук:05.23.05 – Санкт-Петербург, 2009 – 18 с.

16. Симаккина, Г.Н. Высокопрочный дисперсно-армированный бетон. Автореферат дис. канд. техн. наук:05.23.0 – Пенза, 2006 –21с.

17. Деформационный шов пролетного строения моста. Пат ВУ 10378 Е 02 В 3/16 / Т.А. Рубцова, Р.Г. Кротов; заяв. Республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ». – № 20130787; заявл.07.10.2013; опубл. 30.10.2014.