
БАЗАЛЬТОВОЕ СУПЕРТОНКОЕ ВОЛОКНО КАК ОСНОВА МАТРИЦЫ ОГНЕСТОЙКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

© 2023 г. В. А. Прусаков¹, М. В. Гравит², Я. Б. Симоненко², *

¹Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,
ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251 Россия

²Компания “НПК ПРОМИЗОЛ”, ул. Баркляя, д.6, с.3, оф. 7.05, Москва, 121087 Россия

*e-mail: yannasimnna98@mail.ru

Поступила в редакцию 19.08.2022 г.

После доработки 10.10.2022 г.

Принята к публикации 27.10.2022 г.

В статье исследуется огнестойкость конструкции с противопожарным барьером на основе супертонкого базальтового волокна для огнестойкой заделки швов и примыканий в составе железобетонных конструкций в условиях знакопеременной деформации. В европейских нормативных документах такие противопожарные барьеры специально разрабатываются для применения в деформационных швах и работают при сжатии, растяжении и сдвиге шва. В России изделия и материалы, выполняющие функцию противопожарного барьера, не испытываются в условиях знакопеременной нагрузки. В статье приведена методика испытаний на огнестойкость для деформационного шва в железобетонной конструкции. Получены результаты по параметрам целостности (Е) и теплоизолирующей способности (I) для железобетонных плит с последующим в сторону увеличения ширины зазора между плитами и сдвига их относительно друг друга на +25% составляет не менее 245 мин.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнестойкость, строительные конструкции, деформационный шов, базальтовое супертонкое волокно

DOI: 10.31857/S0132665122600522, **EDN:** CGNYAH

ВВЕДЕНИЕ

При решении задач по противопожарной защите конструкций в зданиях и сооружениях, следует особое внимание уделять повышению огнестойкости конструкций, и в частности защите деформационных швов [1–15]. В конструкциях деформационный шов предназначен для снижения (или исключения) нагрузок на элементы конструкций в местах возможных деформаций, возникающих при колебании температуры воздуха стенам зданий, сооружений, воздуха в тоннеле или массиве пород, окружающих его; сейсмических или тектонических явлениях; продольных и поперечных деформациях обделки под внешней нагрузкой; деформаций при неравномерной нагрузке или осадке грунта и других воздействий (для монолитных бетонных и железобетонных тоннельных обделок, в общем случае, значимы, например, также деформации от ползучести и усадки бетона и т.д.) В конструкциях зданий и сооружений для выполнения защиты деформационных швов при пожаре используют специальные виды огнестойкой заделки, созданные непосредственно для эксплуатации в деформационных швах (рис. 1).



Рис. 1. Огнестойкая заделка (противопожарный барьер) в железобетонном перекрытии.

Такие конструкции (изделия) с применением огнестойкой заделки сохраняют все характеристики, как при сжатии шва, так и при его растяжении при осуществлении своих основных функций. Огнестойкие заполнения устанавливают для компенсации возможных изменений ширины шва от первоначальной ширины в горизонтальные и вертикальные деформационные швы монолитных и сборных железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения [16, 17]. В СП 13.13130.2009 “Атомные станции. Требования пожарной безопасности” определяется, что противопожарным барьером являются строительные конструкции и конструкции заполнений проемов, клапаны и заслонки, трубопроводные и кабельные проходки, кабельные и вентиляционные короба, средства конструктивной огнезащиты и тонкослойные огнезащитные покрытия, обеспечивающие нераспространение пожара и его локализацию в течение расчетного времени.

Как правило, противопожарные барьеры для деформационных швов представляют собой комплекс материалов и мероприятий, которые препятствуют проникновению открытого огня, лучистой энергии и продуктов горения через деформационные швы, и включают в себя: клеевой состав для фиксации заделки к смежным строительным конструкциям, включает в себя клеевые составы и монтажные наборы (перфорированные ленты и крепеж); материалы для огнезащиты стыков самих заделок; технологию монтажа; проведение механических испытаний, подтверждающих возможность сохранения свойств заделки в процессе эксплуатации, в том числе при последующем проведении огневых испытаний (после проведения механических).

В настоящее время применяются различные огнезащитные решения по защите сооружений повышенной ответственности, в частности деформационный огнезащитный шнур, который применяется для огнестойкой заделки швов (рис. 2) и примыканий в составе строительных конструкций, которые работают в условиях знакопеременной деформации. Основной задачей при их разработке являлось обеспечение нераспространения огня даже при раскрытии деформационного шва на 50% от проектной ширины. Среди ведущих производителей систем огнезащиты деформационных швов следует упомянуть компании “Veda-France”, “Hilti”, ООО “Огнеза”, “Promat”, ООО “ПРОМИЗОЛ”, “Нулифайер” [18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Огнестойкие заполнители компании ООО “ПРОМИЗОЛ” (Россия) обеспечивают нераспространение огня даже при раскрытии шва на 50%. В частности, противопожарный барьер “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “шнур” предназначен для защи-



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки (слева) и устройство подвижного привода смещения плит перекрытия.

ты деформационного шва шириной от 20 до 100 мм с рекомендуемым диаметром изделия от 28 до 140 мм и обеспечивает предел огнестойкости EI 150–240. Для достижения заявленных деформационных и огнестойких характеристик производится предварительное сжатие изделия, которое зависит от предполагаемой ширины защищаемого деформационного шва.

Основу огнестойкой заделки типа “шнур” составляет высококачественное базальтовое супертонкое волокно. Базальтовые супертонкие волокна (БСТВ) – слой штапельных волокон диаметром 1–3 микрона перепутанных и скрепленных между собой в виде холста базальтовой ваты высокого качества. Содержание твердых неволоконистых включений размером свыше 0.25 мм не превышает 10% от общей доли заполнителя (рис. 2). К преимуществам БСТВ относятся хорошие теплоизоляционные свойства, высокие звукоизоляционные характеристики и стойкость к вибрации, негорючесть материала (НГ), высокая термостойкость и долговечность эксплуатации. В табл. 1 представлены характеристики БСТВ в сравнении с другими видами минеральной ваты.

Испытания на предел огнестойкости (EI – целостность и теплоизолирующая способность) проводились по ГОСТ 30247.1 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции” как огнестойкость ограждающей конструкции, в которой был предусмотрен на всю длину печи шов проектной ширины, и в который, согласно регламенту по производству работ, предварительно вмонтировано изделие “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240”. Опытные образцы устанавливались на экспериментальную установку и подвергались одностороннему тепловому воздействию по стандартному (целлюлозному) температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0-94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования”

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Испытания показали, что пределы огнестойкости (EI) в зависимости от ширины противопожарного барьера “ПРОМИЗОЛ-Шов-П150/240” типа “подушка” при ширине деформационного шва 150 мм с рекомендуемым размером противопожарного барьера 220 мм составляет от 150 до 240 мин, при ширине шва 400 мм и размере изделия 570 мм – от 150 до 240 мин.

Испытания опытных образцов на огнестойкость проводились при увеличении значения ширины шва и его сдвига на 25%. Температура в огневой камере печи измеря-

Таблица 1. Некоторые характеристики БСТВ [19]

Наименование параметров	Шлаковата	Стекловата	Минеральная вата	Тонкое БТВ	БСТВ
Предельная температура применения, °С	До 250	От –60 до +450	До 300–600 (1)	От –190 до +700	От –190 до +1000
Средний диаметр волокна, мкм	От 4 до 12	От 4 до 12	От 4 до 12	От 5 до 15	От 1 до 3
Сорбционное увлажнение за 24 ч (не более), %	1.9	1.7	0.095	0.035	0.02
Необходимость использования связующего	Да	Да	Да	Да	Нет
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0.46–0.48	0.038–0.046	0.077–0.12	0.038–0.046	0.035–0.046
Наличие связующего, %	От 2.5 до 10	От 2.5 до 10	От 2.5 до 10	От 2.5 до 10	–
Теплоемкость, Дж/кг К (3)	1000	1050	1050	500–800	800–1000
Вибростойкость	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Сжимаемость, % (4)	Нет данных	Нет данных	40	40	15
Упругость, % (5)	Нет данных	Нет данных	75	75	95
Температура спекания, °С (6)	250–300	450–500	600	700–1000	1100–1500
Длина волокон, мм	16	15–50	16	20–50	50–70
Коэффициент звукопоглощения	От 0.75 до 0.82	От 0.8 до 92	От 0.75 до 95	От 0.8 до 95	От 0.95 до 99
Химическая устойчивость (потеря веса), % в воде	7.8	6.2	4.5	1.6	1.6
Химическая устойчивость (потеря веса), % в щелочной среде	7	6	6.4	2.75	2.75
Химическая устойчивость (потеря веса), % в кислотной среде	68.7	38.9	24	2.2	2.2

лась печными термopаpами, которые были pаспpеделены pавноpмерно в шести местах по длине образца, а на необогpеваемой поверхности на опытных образцах температура измерялась термopаpами типа ТХА, установленными в количестве 3 штук (рис. 2).

Согласно ГОСТ 30247.0-94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость” в процессе испытания и калибровки в печах должен быть создан стандартный температурный режим, характеризующийся следующей зависимостью:

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1) + 20, \quad (1)$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °С; T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия (принимают равной температуре окружающей среды), °С; t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Порядок проведения испытаний: 1 день – установка ж/б плит на печь и монтаж образцов противопожарных барьеров ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240 типа “Шнур” (ТУ 23.99.19-005-16223937-2017) в шов шириной 50 мм образованный двумя железобетонными плитами перекрытия. 2 день – сдвиг плит по направлению расширения шва и продольного направления относительно друг друга (рис. 3) на 25% от заданной ширины 50 мм. 3 день – огневые испытания в процессе, которого конструкция деформационного шва, в составе ж/б плиты и образцы противопожарных барьеров ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240 типа “Шнур”, подвергались одностороннему тепловому воздействию по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0.

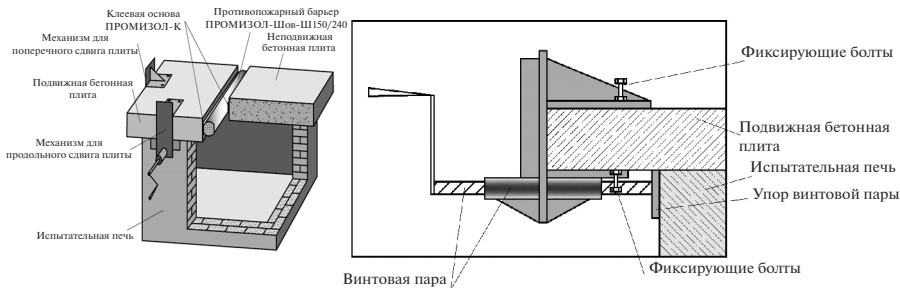


Рис. 3. Экспериментальная установка для проведения этих испытаний и моделирования деформационных перемещений горизонтального деформационного шнура. Устройство привода смещения плит перекрытия (справа).

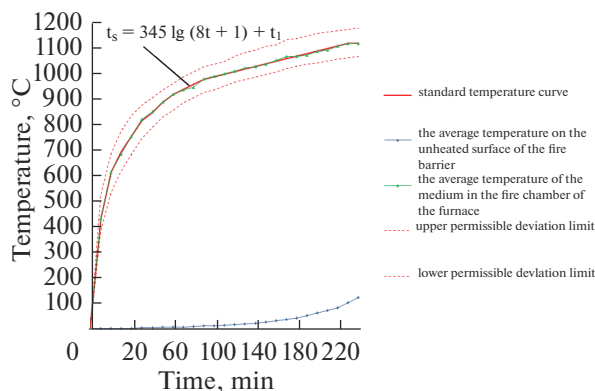


Рис. 4. Графики изменения температуры в огневой камере печи и на необогреваемой стороне железобетонной плиты.

Испытания опытных образцов на огнестойкость проводились при увеличении значения ширины шва и его сдвига на 25%. Величина смещений определялась в соответствии с техническим заданием заказчика. Внешний вид приведен ниже.

Кривые изменения температур опытных образцов противопожарных барьеров ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240 типа “Шнур”, представлены на рис. 4.

На момент окончания огневого воздействия (245 мин) средняя температура по термометрам № 1–3, установленным на необогреваемой поверхности противопожарного барьера составила 134°C, т.е. не превысила нормативного значения 152°C ($140 + 12 = 152^\circ\text{C}$), согласно п.8.1.2 ГОСТ 30247.1-94.

На испытания были представлены 4 образца ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240-80 типа “Шнур” длиной 1 м каждый, в который входит перфорированная оцинкованная монтажная лента типа СТ 20*07 шириной 20 мм и толщиной 0.7 мм, огнезащитный клеевой состав “ПРОМИЗОЛ-К”.

Испытания огнестойкого заполнения деформационного шва ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240 типа “Шнур” производится в составе горизонтального деформационного шва строительной конструкции, состоящей из двух ж/б плит, уложенных на печь па-

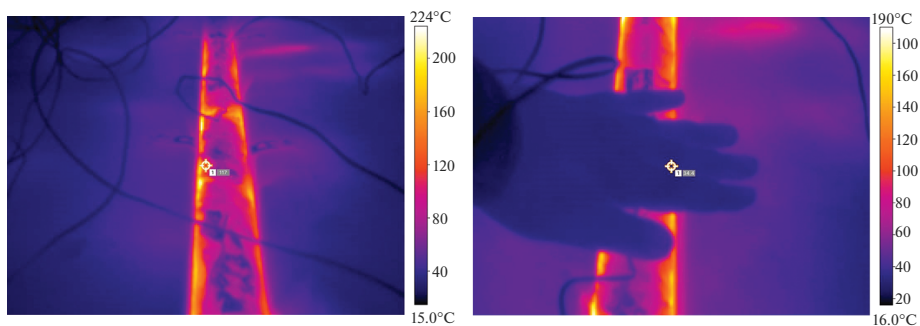


Рис. 5. Термограммы испытания противопожарного барьера типа “шнур”.

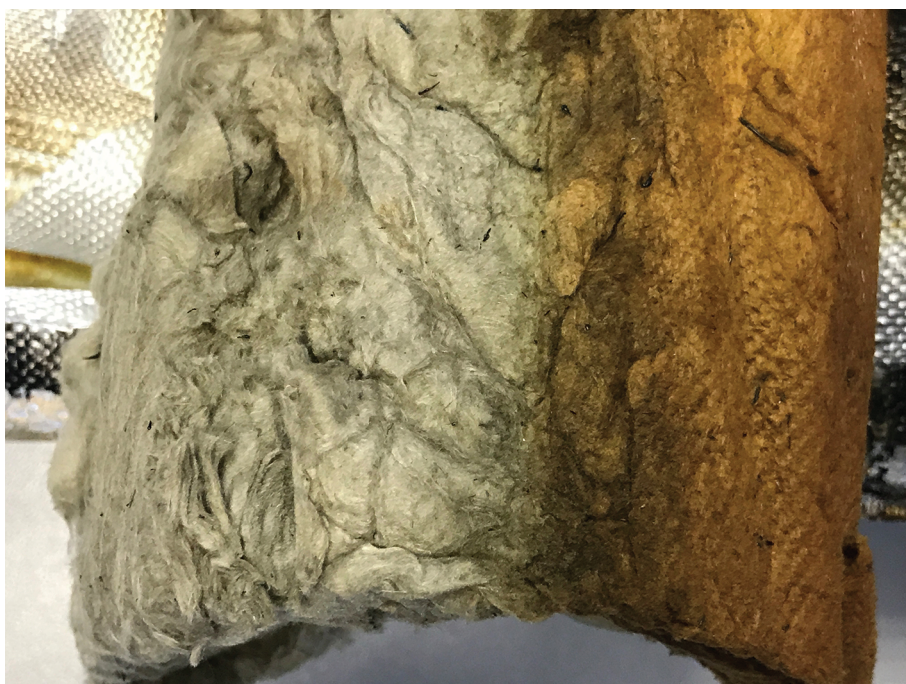


Рис. 6. Базальтовое волокно огнестойкой заделки типа “шнур” после испытаний.

параллельно на расстоянии 50 мм друг от друга. Схема устройства данного горизонтального шва для огневых испытаний представлена на рис. 3.

После завершения испытания на необогреваемой поверхности средняя температура составила 140°C , что соответствует п. 3.14 СП 468.1325800.2019 “Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности”. Параметр “теплоизолирующая способность” (I) определяется как предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности, а именно “предельное состояние несущей и (или) ограждающей строительной конструкции при пожаре вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140°C , или в любой другой точке этой поверхности более чем на 180°C в срав-

нении с температурой конструкции до испытания, или более 220°C независимо от температуры конструкции до испытания”. Термограммы испытания отражены на рис. 5. На необогреваемой поверхности опытных образцов перекрытия в точке, где осуществлялся контроль температура в сравнении с температурой до испытания более чем на 20°C, не повышалась. Проникновения продуктов горения или пламени на необогреваемую поверхность не зафиксировано.

После проведения испытания, на следующий день, шнур развернули, сняли обмотку. Как видно на рис. 6, потемневшая сторона размещалась по направлению обогреваемой поверхности. Примерно половина материала осталась без видимых изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены испытания противопожарной заделки деформационного шва в условиях огневого воздействия при стандартном температурном режиме. Показана эффективность применения огнестойкой заделки на основе супертонкого базальтового волокна, которая заключается в высокой теплоизолирующей способности. Впервые деформационные огнестойкие шнуры в России испытывались при знакопеременной нагрузке. Предел огнестойкости по ГОСТ 30247.1-94 противопожарного барьера “ПРО-МИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “Шнур” ТУ 23.99.19-005-16223937-2017 диаметром 80 мм в составе заполнения деформационного шва с начальной шириной 50 мм, с последующим смещением железо-бетонных плит в сторону увеличения ширины зазора между плитами и сдвига их относительно друг друга на +25%, составил не менее 245 мин, что соответствует квалификации EI 240 по ГОСТ 30247.0-94. За время испытаний видимых изменений ни со шнуром огнестойкой заделки, ни с плитами перекрытия не произошло [20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prusakov V., Gravit M., Simonenko Ya., Minnullina A. and Artyukhina A., Fire retardant for expansion and linear joints in buildings and tunnels, MATEC Web of Conferences. 2018. V. 239. P. 05010.
2. Habimana J., Showbary R., Bienefeld J. In-situ fire test for the design of passive protection for the lafontaine tunnel // North American Tunneling Conference, NAT 2018. 2018. V. 1. P. 251–258.
3. Zhao P., Yuan Z., Yu N. Effect of Extraction Vent Length on Critical Exhaust Volumetric Flow Rate in Long-distance Subway Tunnel Fires with Two-point Extraction Ventilation // 2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering, ICFSFPE 2019. 2019.
4. Cheng X., Shi Z., Nguyen K., Zhang L., Zhou Y., Zhang G., Wang J., Shi L. Solar chimney in tunnel considering energy-saving and fire safety // Energy. 2020. 210.
5. Shah D., Shah J. Comparative study of fire-resistant design of steel structures as per IS800:2007, AS4100:1998, AISC360:2010 and EN1993-1-2. Lecture Notes in Civil Engineering. 2019. V. 11. P. 289–301.
6. Yao Y., Cheng X., Zhang S., Zhu K., Zhang H., Shi L. Maximum smoke temperature beneath the ceiling in an enclosed channel with different fire locations // Applied Thermal Engineering. 2017. V. 111. P. 30–38.
7. Gunnarshaug A., Metallinou M.M., Log T. Study of industrial grade thermal insulation at elevated temperatures // Materials. 2020. V. 13(20). 4613. P. 1–16.
8. Nekora O., Slovynsky V., Pozdieiev S. The research of bearing capacity of reinforced concrete beam with use combined experimental-computational method // MATEC Web of Conferences. 2017. 116.
9. Sakkas K.M., Vagiokas N., Papias M., Papias D. Passive fire protection for road tunnel structures. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art- Proceedings of the WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress. 2019. P. 3005–3009.
10. Tomar M., Khurana S., Singh R. Behaviour of tunnel lining material in road tunnel fire // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 346(1).
11. Tomar M.S., Khurana S. A numerical study on the influence of different tunnel lining insulation materials in a road tunnel fire // Materials Today: Proceedings. 2019. V. 28. P. 665–671.
12. Omar F., Osman S.A., Mutalib A. Nano-silica as the go material on heat resistant tunnel lining // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 342(1).
13. Wang F., Wang M., Huo J. The effects of the passive fire protection layer on the behavior of concrete tunnel linings: A field fire testing study // Tunnelling and Underground Space Technology. 2017. V. 69. P. 162–170.

14. *Maevski I., Chen N., Li Y., Klein R.* Can the fixed fire-fighting system protect tunnel final lining in case of a major fire event. 17th International Symposium on Aerodynamics, Ventilation and Fire in Tunnels 2017, ISAVFT 2017. 2017. P. 263–274.
15. *Chen W.-P.N.* Recent passive fire protection strategies for US highway tunnels. North American Tunneling Conference, NAT 2018. 2018. V. 1. P. 267–278.
16. *Zhang L., Wu X., Liu M., Liu W., Ashuri B.* Discovering worst fire scenarios in subway stations: A simulation approach // *Automation in Construction*. 2019. V. 99. P. 183–196.
17. *Zhang Y., Zhou C., Xie H., Zhang Y.* Structure Optimization and Flame Barrier Performance Evaluation of Barrier Explosion-Proof Materials Based on FLACS // *Chemistry Select*. 2020. V. 5(16). P. 4947–4960.
18. *Prusakov V.A., Gravit M.V., Timofeev N.S., Simonenko Ya.B., Gutorov K.V., Shevchenko A.M.K.S.* Fire retardant coating for expansion and linear joints in buildings. *Pozharovzryvobezопасnost // Fire and Explosion Safety*. 2018. V. 27. № 2–3. P. 45–56 (in Russian).
19. Официальный сайт Batis company. Режим доступа: <http://batis.ru/>
20. Моделирование деформационного шва в ПК ELCUT. Режим доступа: https://elcut.ru/advanced/building_joint_firestop_r.htm