

DOI: 10.34031/article_5da44cc0ad5700.29474015

Солодов Н.В., *Водяхин Н.В., Ищук Я.Л.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: partietz5000@bk.ru

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАХЛЕСТОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. В современном, быстро развивающемся мире, полимерные материалы получают все большее распространение. Результаты различных новых исследований позволяют широко использовать их в качестве материалов для новых изделий, а также применять их при усилении несущих конструкций зданий и сооружений.

В данной статье рассмотрен вопрос повышения несущей способности нахлесточного соединения при помощи углеродного волокна. Приведена классификация различных видов композиционных материалов на основе фибры. Изложен механизм усиления стальных пластин волокном с анализом работы полимерного материала, представлены диаграммы нагружения экспериментальных образцов. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о совместной работе материалов, а также возможности применения полимерных материалов на основе углеволокна для повышения или восстановления несущей способности металлических конструкций. Приведен обзор исследований металлических конструкций, усиленных углепластиковым волокном в зарубежных странах. Результаты испытаний, проведенных в зарубежных странах за последнее время, позволяют сделать вывод о возможности применения полимерных материалов для конструкций, подвергающихся циклическим нагрузкам, а также динамическим воздействиям.

Ключевые слова: усиление, композитные материалы, тонколистовые пластины, углепластиковое волокно, металлические конструкции, свойства углеродных волокон, режимы разрушения образцов, влияние усталостной нагрузки, динамическая нагрузка.

Введение. В современном, быстро развивающемся мире, большое распространение получили полимерные материалы. Результаты различных новых исследований дают возможность широко использовать их в качестве материалов для новых изделий, а также открывают новые области их применения.

Применяемые при реконструкции и усилении строительных конструкций композиционные материалы на основе фибры (волокон) изготавливаются из собственно продолговатых микроволокон, которые омоноличены в отверждающем полимере, объединяющем их в единое целое. Самыми распространенными видами волокон являются арамидные, углеродные и стекловолокна. В качестве связывающего полимера чаще всего применяются эпоксидные или полиакринитриловые смолы. В зависимости от типа волокон (фибры), применяемых для производства композиционного материала (КМФ), их можно разделить на композиционные материалы на основе углеродных волокон (КМФУ), стекловолокон (КМФС) и арамидных волокон (КМФА). В зарубежной научно-технической литературе такие материалы получили название FRP (fibre reinforced polymer).

В последнее время большую актуальность получило применение полимерных композиционных материалов при усилении железобетонных конструкций, т.к. данный способ усиления

позволяет значительно увеличить несущую способность и жесткость конструкций, а также продлить срок эксплуатации всего сооружения.

Основная часть. Применение фиброармированных полимерных материалов в металлических конструкциях может найти свое место при восстановлении прочности на растяжение (при повреждении конструктивных элементов коррозией), а также при необходимости увеличения изгибной прочности или усталостной прочности.

Композитные материалы на основе углеродных волокон, применяемые при усилении строительных конструкций, обладают целым рядом преимуществ:

- стойкостью к химическому воздействию;
- высокими механическими характеристиками материалов, составляющих систему усиления;
- выносливостью и способностью воспринимать вибрационные нагрузки;
- способностью воспринимать длительное воздействие ударных и взрывных нагрузок;
- простотой монтажа и транспортировки;
- не поддерживают горение;
- высокой удельной прочностью.

К недостаткам применяемых углепластиков можно отнести:

- высокую ползучесть, что приводит с течением времени к снижению прочности на растяжение;
- необходимость высококачественной очистки поверхности бетона для обеспечения адгезии;
- низкую огнестойкость системы усиления, необходимость защиты элементов усиления от огня;
- старение углеволокна под действием ультрафиолетового излучения;
- высокую ранимость углепластиковых элементов усиления от механических повреждений;
- необходимость в дополнительной анкеровке элементов усиления большого сечения
- высокую стоимость материалов, составляющих элементы системы [1–3].

Стойкость к химическим воздействиям. Углеродные и арамидные волокна способны хорошо сопротивляться большому количеству химических воздействий: щелочам, хлоридам, кислотам, нитратам, сульфатам и др. Большинство типов стекловолокон корродируют в щелочной среде (при $\text{pH} > 11$), но хорошо сопротивляются воздействию солей. Водопроницаемость арамида по сравнению с другими волокнами более значительна. Однако при большой концентрации солей может измениться кристаллическая решетка у всех типов волокон.

Электропроводимость. Арамидные и стекловолокна обладают диэлектрическими свойствами, поэтому они могут применяться для защиты линий электропередачи, а также инженерных коммуникаций.

Деформирование при сжатии. Результаты проведенных лабораторных испытаний композиционных материалов, применяемых для усиления железобетонных конструкций, показали, что прочность на сжатие меньше прочности на растяжение.

При сжатии в продольном направлении разрушение КМФ может происходить от деформаций поперечного растяжения, микроизгиба волокон в поперечном направлении или от среза. Вид разрушения может зависеть от типа волокон, а также их объемного количества в КМФ и типа отверждающего полимера. В среднем прочность на сжатие составляет от прочности на растяжение для КМФУ – 78 %, для КМФС – 55 % и для КМФА – 20 %. Ввиду малого количества проведенных исследований в настоящее время применять композиционные материалы в сжатой зоне конструкции не рекомендуется, поскольку пока невозможно гарантировать необходимую надежность работы такого усиленного железобетонного элемента.

Сопротивление ударным нагрузкам. При упругом деформировании поведение волокон во время приложения ударной нагрузки зависит от величины, полученной ими энергии. Усталостному разрушению хорошо сопротивляются волокна, которые сочетают высокую прочность на растяжение (более 3500 МПа) и обладают большим относительным удлинением (более 2 %).

Температурное воздействие. Значение коэффициентов линейной температурной деформации, составляющих конструкцию материалов, зависит от величины температурного воздействия. Для бетона она равна $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Коэффициент линейной температурной деформации для стекловолокон близок к бетону, у полимера он примерно в 5 раз больше, а для углеродных волокон его значение близко к нулю. Результаты исследований доказали, что температурными воздействиями в диапазоне температур от $-28 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $+28 \text{ } ^\circ\text{C}$ можно пренебречь [2].

Воздействие огня. Стекловолокна способны сохранять свою прочность вплоть до точки плавления (более $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$), тогда как углеродные волокна подвержены окислению на воздухе при более низком значении температуры – около $275 \text{ } ^\circ\text{C}$. Арамидные волокна нельзя использовать при температуре более $200 \text{ } ^\circ\text{C}$. Экспериментальные исследования [7] свидетельствуют, что при температурах порядка $250 \text{ } ^\circ\text{C}$, что гораздо выше температуры стеклования полимера, прочность на растяжение КМФУ и КМФС снижается примерно на 20 %. Все типы волокон не поддерживают горение. В композиционных материалах при пожаре определяющим будет поведение отверждающего полимера, т.к. при его возгорании могут выделяться токсичные вещества.

Реологические свойства. Ползучесть различных композиционных материалов изменяется в больших пределах, то есть при постоянной нагрузке со временем их прочность на растяжение уменьшается. При этом время ретардации зависит от неблагоприятных воздействий среды – высокой или низкой температуры, ультрафиолетового облучения, щелочного воздействия, циклов «замораживание – оттаивание». Результаты испытаний [7] показали линейную величину длительной прочности от логарифма времени для любого уровня приложенной нагрузки. При испытаниях протяженностью более 500 000 часов коэффициент длительной прочности составил для КМФС – 0,3, для КМФА – 0,47 и для КМФУ – 0,91. Таким образом, можно констатировать, что углеродные волокна практически не подвержены ползучести. Введение в расчет соответствующих понижающих коэффициентов надежности позволяет учесть длительную прочность композиционных материалов.

Чжао и Чжан в исследованиях, проведенных в 2007 году, классифицировали шесть режимов разрушения стальных соединений с углеволокном, в том числе: (а) Стальной и клеевой разрыв зоны контакта; (б) когезионное разрушение (разрушение клеевого слоя); (в) разрушение зоны

контакта углепластика и адгезива; (г) расслаивание углепластика (отделение некоторых углеродных волокон от матрицы смолы); (д) разрыв углеволокна; (е) разрыв стали, как показано на рисунке 1 [8].

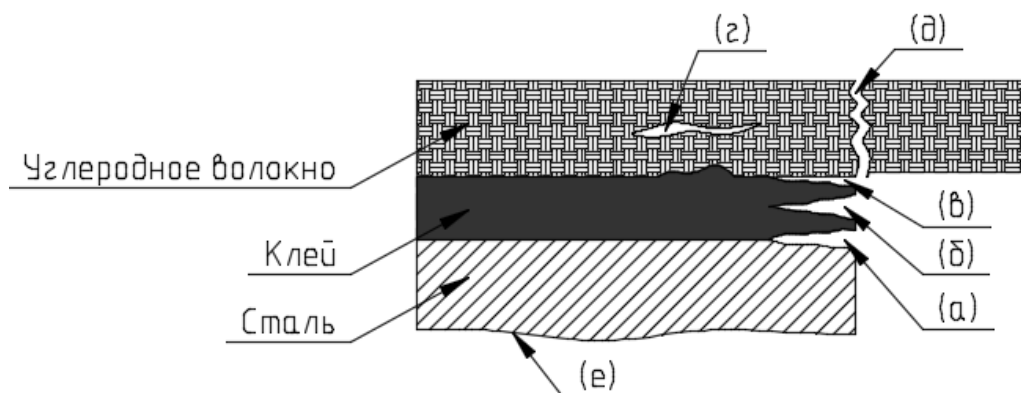


Рис. 1. Классификация режимов разрушения стальных соединений с углеволокном

Связь между углепластиком и сталью является ключевым вопросом при усилении стальных конструкций. Обширные исследования на поведение связи при статической нагрузке были проведены исследователями из Китая – S.H Xia и JG Teng [9].

Для исследования возможного повышения несущей способности нахлесточных соединений тонколистовых деталей было законструировано и изготовлено 2 группы образцов. Образцы первой группы представляли собой нахлесточное соединение в виде трех пластин, соединенных двумя высокопрочными болтами. Общий вид образцов представлен на рис. 2. Класс высокопрочных болтов 10.9.

Образцы были законструированы таким образом, чтобы возможность среза болтов при сдвигающей нагрузке была исключена, а также исключалось смятие кромок крайних пластин, что позволило их использовать в виде сменной оснастки. С целью получения фактической несущей способности по критерию смятия кромки средней пластины было испытано 3 образца.

Величина средней фактической несущей способности составляет 18,1 кН. Величина расчетной несущей способности образца по критерию смятия равна 10,9 кН. На рис. 3 приведено фото образца первой группы после испытаний. Стоит отметить классический вариант разрушения кромки средней пластины.

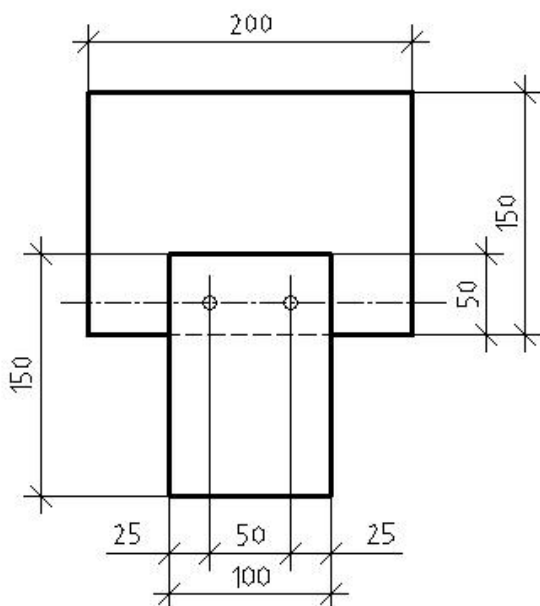


Рис. 2. Общий вид образцов первой группы

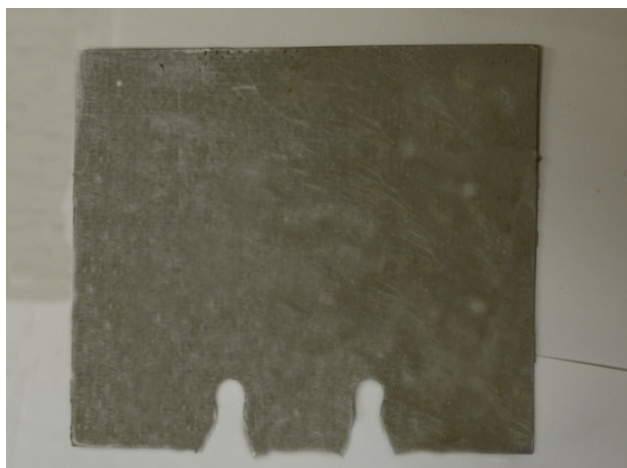


Рис. 3. Общий вид образца первой группы после испытаний

Образцы второй группы представляли собой нахлесточное соединение из трех пластин, усиленных углепластиковым волокном FibArm 530/300. В качестве клеевого слоя использовалась полиэфирная смола Reoflex. Перед укладкой клея на поверхности пластины были нанесены за-сечки с шагом 7 мм под углом 45° в двух направ-лениях, после чего поверхности обезжирили. За-тем, с помощью кисти, равномерно наносили клей, после чего последовало нанесение первого слоя с использованием валика для насыщения ли-ста углепластика смолой и выдавливания пу-зырьков воздуха и избыточного клея. Та же про-цедура была использована для других слоев уг-лепластика. Усиление пластин было выполнено в двух направлениях с каждой стороны – первый

слой углеродного волокна наклеивался в попе-речном направлении, а затем, через 15 минут, наклеивался второй слой в продольном направле-нии.

Анализ работы полимерного материала под нагрузкой показал, что для достижения наилуч-шей работы полимера необходимо устройство именно двух слоев в каждом из направлений.

В соответствии с рекомендациями произво-дителя было выдержано необходимое время отверждения в течение пяти суток.

Образцы каждой группы были испытаны в универсальной гидравлической установке WEW-600 грузоподъемностью 60 т. Нагружение образ-цов производилось плавно с постоянной скоро-стью равной 10 кгс/с.



Рис. 4. Общий вид испытания образцов нахлесточных соединений

На рис. 5 приведен общий вид эксперимен-тальных образцов после испытаний. Следует от-метить пластичный характер разрушения иссле-дуемых образцов, что ярко выражено на резуль-татах диаграммы образцов (рис. 6).

На основании результатов испытаний была построена диаграмма нагружения образцов в ко-ординатных осях: нагрузка, кН (вертикальная ось) – ход подвижной траверсы, мм (горизонталь-ная ось), общий вид диаграммы приведен на рис. 6.

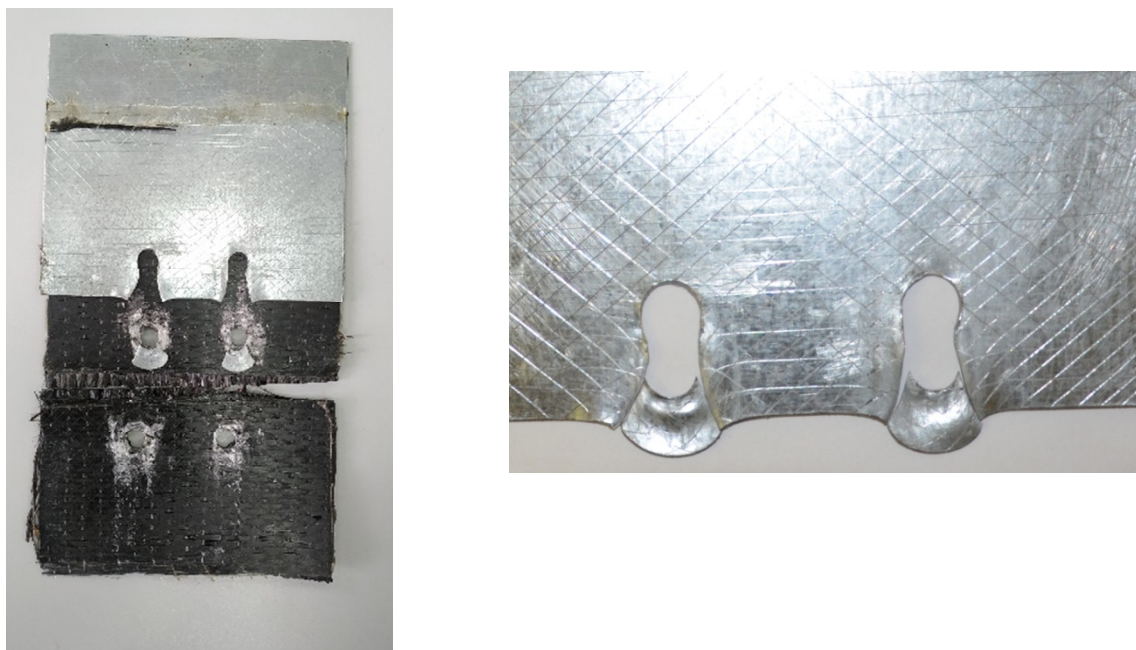


Рис. 5. Общий вид образца второй группы после испытаний

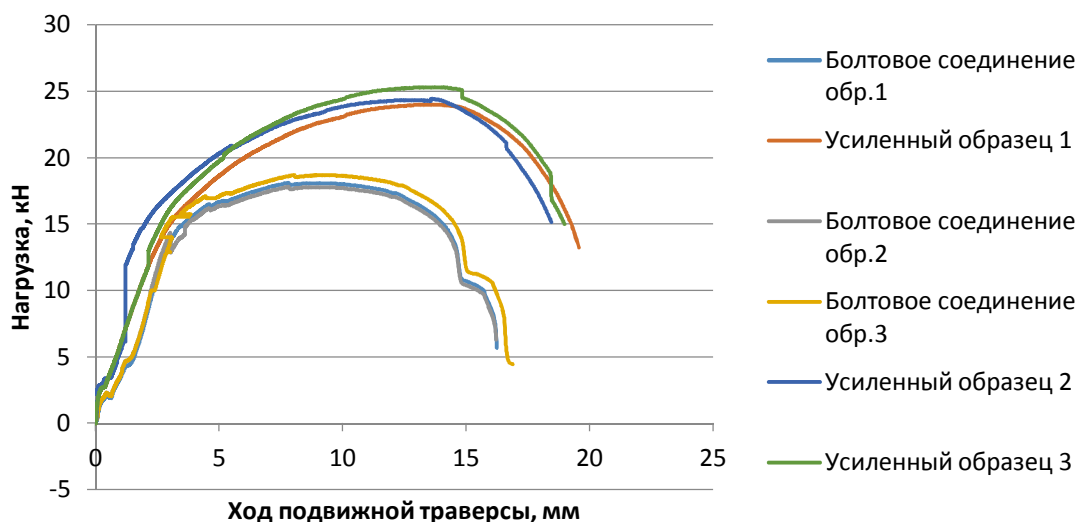


Рис. 6. Диаграмма нагружения образцов нахлесточных соединений

Величина средней фактической несущей способности образцов до усиления составила 18,1 кН, после усиления волокном – 24,1 кН. Соотношение результатов испытаний двух групп позволяет сделать вывод об увеличении несущей способности образцов на 33 %. Образцы второй группы имели схожий характер разрушения тонкой пластины (выкол металла), однако присутствует ярко выраженный характер деформирования зоны металла под болтами в направлении приложенной силы, что также можно отнести к учету совместной работы материалов.

Вывод. На основании полученных данных можно сделать вывод о возможности применения полимерных материалов на основе углеволокна для повышения или восстановления несущей

способности металлических конструкций. Однако, в таком случае, мы сталкиваемся с проблемой отсутствия на сегодняшний день в отечественных нормах методики расчета.

Также стоит отметить, что отечественные исследования, посвященные проблеме усиления металлических строительных конструкций композитными материалами на основе углеволокна, практически отсутствуют, что способствует развитию целого направления научных исследований с разработкой методики расчета.

Анализ вопроса применимости полимерных материалов в конструктивных системах европейских стран позволил сделать вывод об их широком распространении в строительном кластере и за его пределами.

В странах дальнего зарубежья данное направление имеет большую популярность, а численность новых исследований постоянно возрастает.

Помимо исследований на статические нагрузки, были проведены испытания с применением динамической нагрузки.

Так, например, исследователи H.A. Al-Zubaidy, X.L. Zhao и R. Al-Mahaidi на основании проведенных испытаний пришли к выводу, что при динамической нагрузке прочность соединения вырастает значительно, поскольку повышается прочность эпоксидной смолы на сдвиг [10].

Результаты исследований, проведенных H.B. Liu, X.L. Zhao и R. Al-Mahaidi на тему влияния усталостной нагрузки на прочность пластин, усиленных углеволокном позволили сделать вывод о том, что решающую роль при циклических нагрузках оказывает величина прикладываемого усилия, а при приложении нагрузки, составляющей менее 40 % от предельной статической нагрузки, разрушения образцов не наблюдалось [11].

Экспериментальным путем было доказано, что применение композитов из углепластика на элементах из конструкционной стали повышает жесткость соединения (Ghafoori и Motavalli 2013), прочность на изгиб (Ghafoori и Motavalli 2015 a & b) и сопротивление усталостному разрушению (Ghafoori et al. 2015 a, Ghafoori et al. 2015b, Ghafoori et al. 2015c) [12].

Однако, до настоящего времени очень мало внимания уделялось анализу жесткости стальных пластин, усиленных углеволокном. Yiyan Lu и соавторы предложили свою деформационную модель стальных пластин, усиленных углеволокном и на ее основе, с помощью математического анализа, сделали вывод, что жесткость соединения увеличивается почти линейно с увеличением длины зоны анкерки.

Omar H. Elkhabeery и соавторы экспериментальным путем доказали эффективность усиления углепластиковыми холстами стальных балок двутаврового сечения, а также разработали аналитическую методику их расчета.

Изучением работы клевого шва между углепластиком и стальными пластинами при циклической нагрузке занимались Long Zhang и соавторы. На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований авторами была предложена расчетная модель для описания взаимосвязи между скоростью развития трещин и величиной напряжений при циклически повторяющихся нагрузках.

Однако, все выше перечисленные исследования были проведены зарубежными коллегами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Том 8. №3. <http://naukovedenie.ru/PDF/> (доступ свободный).
2. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 2. Влияние температуры // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Том 8. №4. <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN416.pdf> (доступ свободный).
3. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Покулаев К.В., Татиев Д.А. Особенности расчета металлических конструкций, усиливаемых фиброармированными пластиками // Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы II Международной научно-практической конференции. Курган. 2014. 456 с.
4. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Покулаев К.В., Татиев Д.А. О разработке нормативных документов по усилению металлических строительных конструкций композиционными материалами // Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы II Международной научно-практической конференции. Курган. 2014. С. 151–157.
5. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Татиев Д.А., Покулаев К.В. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками: Часть 1. Состояние проблемы // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 3. С. 1–27. Идентификационный номер статьи в журнале 19TVN314.
6. Шилин А.А. и др. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. Часть 1. М.: Стройиздат, 2007. 184 с.
7. Long Zhang, Shuangyin Cao, and Xin Tao, Experimental Study on Interfacial Bond Behavior between CFRP Sheets and Steel Plates under Fatigue Loading. Materials. 2019. Vol. 12. Pp. 377–391.
8. Al-Zubaidy H. A., Zhao X. L., Al-Mahaidi R. Effect of Impact Tensile Load on Strength of CFRP Bonded Steel Plate Joints // The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. 2011. Vol. 14. Pp. 1312–1317.
9. Elkhabeery O.H., Safar S.S., Mourad S.A. Flexural strength of steel I-beams reinforced with CFRP sheets at tension flange // Journal of Constructional Steel Research. 2018. Vol. 148. Pp. 572–588.
10. Lu Y., Li W., Ghafoori E., Liang H., Liu Z. Stiffness prediction of CFRP/steel double strap joints

// Fourth Conference on Smart Monitoring. 2017. Vol. 18(1). Pp. 117–125.

11. Liu H.B., Zhao X.L., R. Al-Mahaidi, The effect of fatigue loading of bond strength of CFRP bonded steel plate joints // Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures. 2005. Pp. 451–456.

Информация об авторах

Солодов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: solodov_niko_v@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Водяхин Николай Вячеславович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: partietz5000@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ищук Яна Леонидовна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Yana.ishuk@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2019 г.

© Солодов Н.В., Водяхин Н.В., Ищук Я.Л., 2019

Solodov N.V., *Vodyahin N.V., Ishchuk Y.L.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: partietz5000@bk.ru*

IMPROVING THE STRENGTH OF HARNESSING CONNECTION OF THIN-SHEET PLATES

Abstract. *In the modern, rapidly developing world, polymeric materials are widely used. The results of various new studies allow them to be widely used as materials for new products, as well as to apply them when strengthening the supporting structures of buildings and structures.*

This article discusses the issue of increasing the carrying capacity of lap-joints using FRP sheets. The classification of various types of fiber-based composite materials is given. The mechanism of reinforcement of steel plates with fiber with the analysis of the work of a polymeric material is presented; loading diagrams of experimental samples are presented. The analysis of the obtained results allows us to conclude about the joint work of materials, as well as the possibility of using polymer materials based on carbon fiber to increase or restore the bearing capacity of metal structures. A review of studies of metal structures reinforced with carbon fiber in different countries is given. The results of tests conducted in different countries allow us concluding that polymeric materials can be used for structures subjected to cyclic loading, as well as dynamic effects.

Keywords: *strengthening, composite materials, thin-sheet plates, FRP sheets, metal structures, properties of FRP sheets, modes of sample failure, the effect of fatigue load, dynamic load.*

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. Analysis of experimental studies strengthening of reinforced concrete structures by polymer composite materials. Part 1. Native experiments under static load [Analiz eksperimentalnykh issledovaniy po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksiy polimernymi kompozitnymi materialami. Chast 1. Otechestvennyye eksperimenty pri staticheskom nagruzhении]. Naukovedenie. 2016. Vol. 8. No. 3. <http://naukovedenie.ru/PDF/> (rus)

2. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. Analysis of experimental studies strengthening of reinforced concrete structures by polymer composite materials. Part 2. Study of the effect of temperature [Analiz eksperimentalnykh issledovaniy po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksiy polimernymi kompozitnymi materialami. Chast 2. Vliyaniye temperatury]. Naukovedenie. 2016. Vol. 8. No. 4. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN416.pdf> (rus)

3. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Tatiev D.A., Pokulaev K.V. Strengthening of metal structures by fibro-reinforced

plastics. [Osobennosti rascheta metallicheskih konstruktsiy, usilivaemyih fibroarmirovannyimi plastikami]. Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan. 2014. Pp. 141–151. (rus)

4. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Pokulaev K.V. Tatiev D.A. On the development of regulatory documents on the strengthening of metal building structures with composite materials [O razrabotke normativnykh dokumentov po usileniyu metallicheskih stroitelnykh konstruktsiy kompozitsionnyimi materialami]. Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan. 2014. Pp. 151–157. (rus)

5. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Tatiev D.A., Pokulaev K.V. Strengthening of metal structures by fibro-reinforced plastics. Part 1. Co-standing of the problem [Usilenie metallicheskih konstruktsiy fibroarmirovannyimi plastikami: chast 1. Sostoyanie problemy]. Naukovedenie. 2014. No. 3. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/19TVN314.pdf> (rus)

6. Shilin A.A. etc. External bonding of concrete structures with composite materials. Part 1 [Vneshnee armirovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitnyimi materialami. Chast 1]. M. Stroiizdat. 2007. 184 p. (rus)

7. Long Zhang, Shuangyin Cao, and Xin Tao, Experimental Study on Interfacial Bond Behavior between CFRP Sheets and Steel Plates under Fatigue Loading. *Materials*. 2019. Vol. 12. Pp. 377–391.

8. Al-Zubaidy H. A., Zhao X. L., Al-Mahaidi R. Effect of Impact Tensile Load on Strength of CFRP Bonded Steel Plate Joints. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. 2011. Vol. 14. Pp. 1312–1317.

9. Elkhabeery O.H., Safar S.S., Mourad S.A. Flexural strength of steel I-beams reinforced with CFRP sheets attachment flange. *Journal of Constructional Steel Research*. 2018. Vol. 148. Pp. 572–588.

10. Lu Y., Li W., Ghafoori E., Liang H., Liu Z. Stiffness prediction of CFRP/steel double strap joints. *Fourth Conference on Smart Monitoring*. 2017. Vol. 18(1). Pp. 117–125.

11. Liu H.B., Zhao X.L, Al-Mahaidi R. The effect of fatigue loading of bond strength of CFRP bonded steel plate joints. *Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures*. 2005. Pp. 451–456.

12. Redikultsev E.A. Numerical research of behavior of ferro-concrete elements by means of program complex ANSYS. *Akademicheskij vestnik uralniiproekt RAASN*. 2009. Vol. 2. Pp. 81–87.

Information about the authors

Solodov, Nikolay V. PhD, Assistant professor. E-mail: solodov_niko_v@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vodyahin, Nikolay V. Postgraduate student. E-mail: partietz5000@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ishchuk, Yana L. Postgraduate student. E-mail: Yana.ishuk@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2019

Для цитирования:

Солодов Н.В., Водяхин Н.В., Ищук Я.Л. Повышение несущей способности нахлесточного соединения тонколистовых деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 9. С. 30–37. DOI: 10.34031/article_5da44cc0ad5700.29474015

Forcitation:

Solodov N.V., Vodyahin N.V., Ishchuk Y.L. Improving the strength of harnessing connection of thin-sheet plates. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 9. Pp. 30–37. DOI: 10.34031/article_5da44cc0ad5700.29474015