



Research Article

Received: September 16, 2025

Accepted: November 1, 2025

ISSN 2304-6295

Published: December 13, 2025

## Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating

Tyukalov, Yury Yakovlevich.<sup>1\*</sup>    
 Ashikhmin, Stanislav Eduardovich.<sup>1</sup>  

<sup>1</sup> Vyatka State University, Kirov, Russian Federation; [yutvgu@mail.ru](mailto:yutvgu@mail.ru) (T.Y.Y.); [ashihminstanislav@gmail.com](mailto:ashihminstanislav@gmail.com) (A.S.E.);

Correspondence: \* email [yutvgu@mail.ru](mailto:yutvgu@mail.ru); contact phone [+79128218977](tel:+79128218977)

### Keywords:

Fire resistance; Quick-erecting connections; Composite rods; Epoxy adhesive

### Abstract:

**The object of research** is the composite reinforcement at high temperatures. **Method.** During the study, 16 specimens with composite rods bonded with epoxy resin on metal tubes were prepared. The specimens were tested using a universal hydraulic machine and pre-heated using a heat gun to heat the reinforcement to various temperatures (20°C, 100°C, 150°C, 250°C, and 300°C). The maximum breaking load was determined for specimens with and without preheating. **Results.** Test results show that preheating the rods increases the strength of composite rods at elevated temperatures. As the reheating temperature increases, the effect of preheating on the strength of the composite rebar increases. The difference in maximum tensile strength between preheated and unheated rods, tested at 300°C, reaches 50%.

## 1 Introduction / Введение

Строительные материалы и технологии требуют постоянного совершенствования для повышения надежности и долговечности конструкций под воздействием эксплуатационных нагрузок и внешних факторов. В 2020-е годы, благодаря своей высокой прочности, легкости и устойчивости к коррозии, все более широкое применение в строительных конструкциях находит композитная арматура. Но известно, что прочность композитной арматуры резко снижается при нагревании до высоких температур. Это стимулирует поиск способов снижения влияния высоких температур на прочность композитной арматуры, что является важным для расширения области ее применения.

Износостойкость полимерных композитов также зависит от содержания волокон и условий эксплуатации, таких как температура и влажность [1]-[2]. Внедрение цифровых методов и новых технологий армирования — например, интеграция армирующих элементов непосредственно в процесс заливки — позволяет переосмыслить роль армирования и повысить его эффективность в условиях температурных воздействий [3], [4]. Исследования показывают, что использование морской воды и сульфатостойкого цемента способствует повышению механических свойств бетона и его устойчивости в агрессивных средах [5]. Преимущества неметаллических армирующих веществ при температурных колебаниях и в агрессивных средах обусловлены их долговечностью и экологическими характеристиками [6], [7], а использование натуральных и минерализованных волокон с улучшенной температурной стойкостью способствует созданию более устойчивых конструкций [8], [9]. Дополнительные исследования сосредоточены на механических свойствах композитных материалов, полученных методом ручной укладки, где различие в типах армирующих волокон влияет на показатели прочности и реакцию материала на температуру [10]. Использование армированных волокнами бетонов увеличивает их стойкость к

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating;  
 2025; Construction of Unique Buildings and Structures; 120 Article No 12003. doi: 10.4123/CUBS.120.3

усталости и микротрецинам, что особенно актуально для эксплуатации в экстремальных условиях [11].

Важной областью исследований является мониторинг коррозии армирующих элементов и оценка их поведения при повышенных температурах [12]. В рамках исследований по экологической устойчивости и нанотехнологиям изучаются новые материалы с повышенной температурной стойкостью, такие как бетоны с углеродными нанотрубками, обладающие улучшенными эксплуатационными характеристиками [13]-[15]. Особое значение имеет изучение поведения композитных структур при экстремальных температурах. В работах [16] продемонстрировано, что увеличение доли армирующих волокон повышает сдвиговую прочность и жесткость ультра-высокопрочного бетона, а графики эффективности показывают зависимость свойств от температуры и состава армирования.

Композитная армирующая арматура используется в строительстве благодаря своим свойствам и удобству эксплуатации [17], [18]. Особое внимание уделяется соединениям предварительно напряженного железобетона с использованием композитных стержней, а также их поведению при различных температурных воздействиях, что позволяет точно моделировать их эксплуатационные характеристики [17], [18]. Рынок показывает, что наиболее распространенной является стеклопластиковая арматура благодаря низкой стоимости, в то время как базальтовая, углеродная и арамидная армировка отличаются высокой прочностью и применимы в сейсмоопасных регионах [19]. Технологические особенности работы с полимерными композитами, такие как транспортировка, укладка и контроль качества, требуют понимания их специфики при нагревании.

Представленные в статьях разработки включают использование волоконных материалов, таких как стеклопластик, кевлар и высокопрочные волокна, обеспечивающих высокие механические показатели при экстремальных температурах [20]. Эксперименты с бетонами, усиленными GFRP, показывают снижение их механических свойств при повышении температуры, особенно по прочности и микроструктуре, что важно учитывать при проектировании долговечных конструкций [21], [22].

Выявлена важность обработки поверхности GFRP для улучшения адгезии с бетоном и повышения устойчивости к высокотемпературным воздействиям [23]. Исследование композитных материалов в условиях высоких температур является важной областью научных исследований, обусловленной необходимостью повышения долговечности и огнестойкости конструкций [24], [25], [26]. Кроме того, влияние высоких температур на сцепление компонентов в композитных системах и последствия пожаров — например, потерю адгезии выше 400°C — снижают несущую способность конструкций [25], [26]. Внедрение нанотехнологий, таких как углеродные нанотрубки, способствует повышению термической устойчивости бетонов и их долговечности [27].

Исследования показывают, что пожар сильно влияет на арматурные связи и конструкционные параметры железобетонных и композитных элементов [28], [29], [30]. В работе [28] установлено, что нагревание до условия пожара снижает прочность бетона, что влияет на восприимчивость к разрушению. В [30] изучено поведение сцепления арматуры и бетона после пожара, выявлено, что уровень деградации соединений зависит от условий нагрева, но изменение параметров оказывает незначительное влияние на остаточную прочность.

Таким образом, можно заключить, что дальнейшие исследования в области композитной арматуры, особенно в условиях нагрева, имеют большое значение для разработки более безопасных и эффективных строительных решений.

В данной работе будут представлены экспериментальные исследования, направленные на расширение знаний о механических свойствах композитной арматуры при различных температурах и условиях эксплуатации. Цель данной работы заключается в исследовании влияния предварительного нагрева композитной арматуры на её прочность на растяжение при повторном нагреве до высоких температур. Проведено экспериментальное определение максимальной прочности композитных стержней при различных температурах, как с предварительным прогревом, так и без него.

## 2 Materials and Methods / Материалы и методы

Для проведения испытаний было подготовлено 16 образцов. Каждый образец состоит из двух профильных металлических труб с сечением 30×30 мм и длиной 400 мм, в которые вклеивались композитные стержни длиной 700 мм (Рис.1). Торцы труб, расположенные на Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating;  
2025; Construction of Unique Buildings and Structures; 120 Article No 12003. doi: 10.4123/CUBS.120.3

расстоянии 60 мм от края, были сплющены для закрепления в гидравлической испытательной машине Р-10 (Техмаш, Россия, Киров). В качестве kleяющего состава использовалась эпоксидная смола ЭД-20 с отвердителем. После вклейивания стержней, до испытаний образцы выдерживались в течение 2-3 суток. Для образцов, предназначенных для последующего нагрева, дополнительно, с одной стороны, приклеивалась теплоизоляционная фольга, которая препятствовала рассеянию тепловой энергии в окружающую среду.



**Рис.1 – Общий вид испытуемых основных образцов**

**Fig.1 – General view of the main samples being tested**

*Image by the author of the article*

Для испытаний использовалась универсальная гидравлическая машина Р-10 (Техмаш, Россия, Киров) с максимальной выдергивающей нагрузкой 50 кН и диапазоном нагружения 10–50 кН. Погрешность измерений нагружения составляла  $\pm 1\%$ . Перемещения фиксировались с помощью манометра, закреплённого на установке, со шкалой деления 0.01 мм.



**Рис.2 – Общий вид оборудования**

**Fig.2 – General view of the equipment**

*Image by the author of the article*

Для нагрева композитных стержней использовался строительный фен DEKO HG2200W 063-4200 (Китай, провинция Цзянсу) (максимальная температура до 600 °C, воздушный расход — 500 л/мин). Для испытаний образцы закреплялись в испытательной машине (Рис. 2). Для предварительного прогрева, композитный стержень нагревался в середине образца, на небольшом участке, до температуры 280–300 °C (до почернения арматуры). Контроль температуры осуществлялся с помощью лазерного пирометра Aceline (DIN36, Китай, провинция Цзянсу) с диапазоном измерения от -50 °C до 550 °C и погрешностью  $\pm 2\%$ . Затем, стержень остывал, примерно до температуры 20–22 °C. Далее, стержень снова нагревался строительным

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating;

2025; Construction of Unique Buildings and Structures; 120 Article No 12003. doi: 10.4123/CUBS.120.3

феном до необходимой для испытания температуры. Таким образом проводились испытания прочности композитных стержней на растяжение при различных температурах, как с предварительным прогревом до температуры 300 °C, так и без него.

### 3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

Для проверки прочности анкеровки арматуры в профильных трубах были испытаны 6 образцов, по два для диаметров композитных стержней 6, 8 и 10 мм (Рис. 3). Испытания проводились при комнатной температуре, без нагрева. Три образца содержали анкеровку арматуры за счёт загибания 10 см арматурного стержня в обратную сторону (общая длина арматуры — 900 мм). Результаты испытаний на растяжение приведены в таблице 1.



Рис.3 – Общий вид испытуемых тестовых образцов

Fig.3 – General appearance of the test samples

Image by the author of the article

Таблица 1 – Зависимость максимальной разрывающей силы в зависимости от диаметра композитного стержня с анкеровкой и без

Table 1 – Dependence of the maximum tensile force on the diameter of the composite rod with and without anchorage

Арматура 6мм		Арматура 8мм		Арматура 10мм	
Без анкеровки	С анкеровкой	Без анкеровки	С анкеровкой	Без анкеровки	С анкеровкой
18.5 kN	21 kN	18 kN	14 kN	15 kN	9 kN

Анализ результатов испытаний показывает, что максимальная выдергивающая нагрузка при использовании арматуры диаметром 8 и 10 мм оказывается ниже, чем для арматуры 6 мм. Это связано с тем, что у образцов с более крупным диаметром слой эпоксидной смолы был тонким, и при выдергивании происходила потеря связи внутри слоя, а не разрушение самого композитного стержня. В связи с этим для дальнейших испытаний использовались стержни диаметром 6 мм.

Испытывалось 10 образцов: 5 — с предварительным нагревом арматуры, и 5 — без предварительного нагрева. Испытания на растяжение проводились при следующих температурах стержней: 20 °C, 100 °C, 150 °C, 250 °C и 300 °C. Результаты испытаний представлены на рисунке 4 и в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость прочности композитной арматуры от температуры  
Table 2 – Dependence of composite reinforcement strength on temperature

t, °C	Максимальная сила разрыва стержня, кН	
	Без предварительного нагрева	С предварительным нагревом
20	19.75	19
100	15	16.5
150	13	14.5

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating;  
2025; Construction of Unique Buildings and Structures; 120 Article No 12003. doi: 10.4123/CUBS.120.3

250	10	13.5
300	8	12

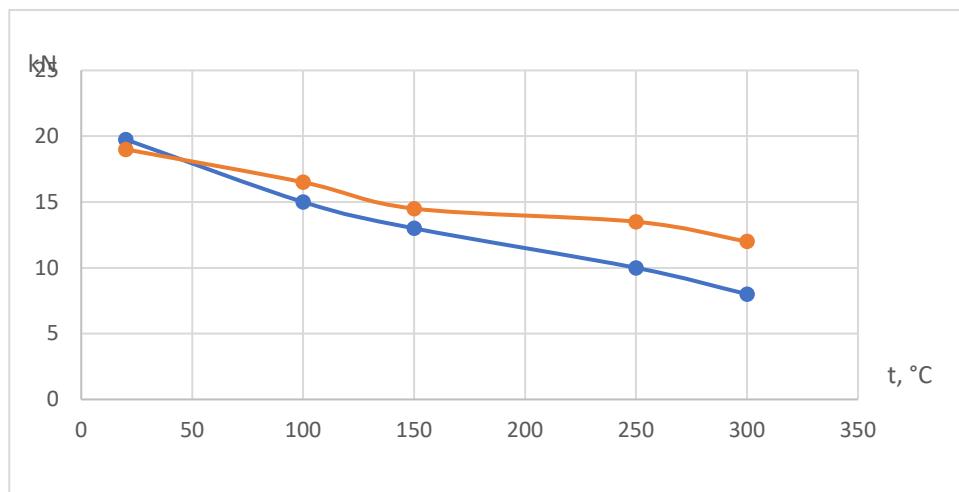


Рис.4 – График зависимости прочности композитной арматуры от температуры. Синяя линия показывает прочность без нагрева, красная — прочность после предварительного нагрева до 300 градусов Цельсия

Fig.4 – Graph of composite rebar strength versus temperature. The blue line shows the strength without heating, and the red line shows the strength after preheating to 300 degrees Celsius  
*Image by the author of the article*



Рис.5 – Образцы после испытания, сверху вниз 100°C, 150°C, 250°C, 300°C

Fig.5 – Samples after testing, from top to bottom 100°C, 150°C, 250°C, 300°C

*Image by the author of the article*

Результаты испытаний показывают, что предварительный нагрев арматуры увеличивает прочность композитной арматуры при повышенных температурах. При увеличении температуры повторного нагрева, влияние предварительного прогрева на прочность композитного стержня увеличивается. Разница в максимальной разрывающей силе, между предварительно прогретым стержнем и стержнем без прогрева, для испытаний при температуре 300 °C достигает 50%.

#### 4 Conclusions / Заключение

1. Проведены испытания композитных стержней на растяжение при повышенных температурах с предварительным нагревом до 300 °C и без него.
2. Результаты испытаний показывают, что предварительный нагрев арматуры увеличивает прочность композитной арматуры при повышенных температурах. При увеличении температуры повторного нагрева, влияние предварительного прогрева на прочность

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Composite reinforcement strength at high temperatures: The influence of preheating;  
 2025; Construction of Unique Buildings and Structures; 120 Article No 12003. doi: 10.4123/CUBS.120.3



композитного стержня увеличивается. Разница в максимальной разрывающей силе, между предварительно прогретым стержнем и стержнем без прогрева, для испытаний при температуре 300 °С достигает 50%.

## References

1. Kalbin, S. T., Foisal, H. Md, Rana, M. S., Mamun, M. Md, Ferdous, S. Md. (2024). Durability and mechanical characteristics of unidirectional jute/banana and synthetic fiber reinforcement epoxy composite. *Hybrid Advances*, **6**, 100232. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100232>
2. Ibrahim, I. D. (2025). Improvement of mechanical and wear behaviour of fiber-reinforced polypropylene composites for the rail industry. *Hybrid Advances*, **10**, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100457>
3. Kloft, H., Sawicki, B., Bos, F., Dörrie, R., Freund, N., Gantner, S., Gebhard, L., Hack, N., Ivaniuk, E., Kruger, J., Kaufmann, W., Mata-Falcón, J., Mechtkerine, V., Mirjan, A., Wolfs, R., Lowke, D. (2024). Interaction of reinforcement, process, and form in digital fabrication with concrete. *Cement and Concrete Research*, **186**, 107640. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107640>
4. Kang, D.-H., Choi, W. (2025). Durability of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) rebar exposed to long-term alkaline environment. *Construction and Building Materials*, **496**, 143757. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143757>
5. Abushanab, A., Ebead, U., Genedy, M., Ayash, N. M., Fawzy, S. A. (2025). Flexural behavior and durability of reinforced concrete beams with seawater, sulfate-resistant cement, and glass fiber-reinforced polymer reinforcement. *Engineering Structures*, **333**, 120204. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120204>
6. Huber, T., Grasl, P., Kleiser, M., Kromoser, B., Preinstorfer, P. (2024). Holistic life cycle cost analysis of road bridges with non-metallic reinforcement. *Developments in the Built Environment*, **20**, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100533>
7. Bujotzek, L., Beck, D., Apostolidi, E., Waldmann, D. (2024). Experimental and statistical investigations of the material properties of FRP reinforcement in compression. *Construction and Building Materials*, **414**, 134782. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134782>
8. Pipistrelli, M. E., Pepi, C., Greco, P. F., Tomassoli, L., Vinti, F., Quaglia, G., Latterini, L., Gioffrè, M. (2025). Evaluating the impact of coatings and chemical treatments on the tensile behavior of natural fibers. *Construction and Building Materials*, **485**, 141724. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141724>
9. Neef, T., Kalthoff, M., Müller, S., Cruz, C. M., Raupach, M., Matschei, T., Mechtkerine, V. (2025). Mineral-impregnated carbon fibers reinforcement for concrete elements manufactured by extrusion. *Cement and Concrete Composites*, **157**, 105909. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105909>
10. Asthana, A., Srinivas, R., Chauhan, S. S., Bandhu, D., Dwivedi, S. P., Saxena, K. K., Kaur, K., Alnaser, I. (2024). Development and mechanical properties evaluation of environmentally sustainable composite material using various reinforcements with epoxy. *Case Studies in Construction Materials*, **21**, e03624. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03624>
11. Zhang J., Wang M., Han K., Wang J. (2024). Fatigue performance and damage of partially prestressed concrete beam with fiber reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*, **21**, e03665. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03665>
12. Li Q., Lan J., Shen L., Yang J., Chen C., Jiang Z., Wang C. (2025) A state-of-the-art review on monitoring technology and characterization of reinforcement corrosion in concrete. *Case Studies in Construction Materials*, **22**, e04780. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04780>
13. Yuan J., Xiao J., Huang D. (2025). Experimental research on bond behavior of high-strength reinforcement in unconfined fly ash-based geopolymers concrete. *Case Studies in Construction Materials*, **23**, e05468. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05468>
14. Al-Jasmi S., Ariffin N. F., Seman M. A. (2024). Model analysis of carbon fiber reinforcement properties for reinforced concrete beams to resist blast loads. *Materials Today: Proceedings*, **109**, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.326>
15. Taha A., Alnahhal W., Irshidat M. (2024). Effect of carbon nanotubes on the bonding mechanism of non-corrosive reinforcements to concrete. *Structures*, **60**, 105952. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.105952>



16. Mirzaaghabeik H., Shukla S. K., Mashaan N. S. (2025). Effects of vertical reinforcement on the shear performance of UHPC deep beams with synthetic and steel fibres. *Structures*, **76**, 109038. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109038>
17. Tyukalov Y., Ashikhmin S. (2023). Quickly constructed joint of precast concrete arch elements. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **107**. <https://doi.org/10.4123/CUBS.107.3>
18. Ashikhmin S., Tyukalov Y. (2023). The joint of precast reinforcement frame elements using composite rods. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **109**. <https://doi.org/10.4123/CUBS.109.10>
19. Sergeeva E. A. (2023). Justification of the rationality of use of composite reinforcement in low-rise construction. *Scientific Review. Technical sciences*, **5**, 26–30. <https://doi.org/10.17513/srts.1449>
20. Gahletia S., Kaushik A., Garg R. K., Chhabra D., Kovács A., Khargotra R., Singh T. (2023). Fabrication and analysis of micro carbon fiber filled nylon filament reinforced with Kevlar, Fiberglass, and HSHT Fiberglass using dual extrusion system. *Materials Today Communications*, **35**, 106075. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106075>
21. Zima B., Krajewski M. (2022). The vibration-based assessment of the influence of elevated temperature on the condition of concrete beams with pultruded GFRP reinforcement. *Composite Structures*, **282**, 115040. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.115040>
22. Sun J.-H., Su N.-J., He Z.-Q., Jia R.-X., Liu Y., Lin F.-K., Ka T. A. (2024). Durability of concrete-encapsulated GFRP bars subjected to seawater immersion. *Case Studies in Construction Materials*, **20**, e03249. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03249>
23. Abdullah M., Ferdous W., Banerjee S., Manalo A. (2024). Bond behaviour of smooth surface GFRP pultruded profiles with cement grout. *Case Studies in Construction Materials*, **20**, e02891. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02891>
24. Spagnuolo S., Meda A. (2024). Precast CSA-based concrete tunnel lining segments reinforced with GFRP bars: Challenges and opportunities. *Construction and Building Materials*, **425**, 136007. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136007>
25. Estevan L., Baeza F. J., Varona F. B., Pereiro J. (2023). Effect of high temperature on textile reinforced Mortar-to-masonry bond. *Construction and Building Materials*, **393**, 132123. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132123>
26. Murad Y., Zayed A. T. M. Z., Almahmood H. (2025). Flexural behaviour of one-way slabs with stainless steel and fibre reinforced concrete under elevated temperature. *Results in Engineering*, **28**, 107630. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107630>
27. Chousidis N., Zeris C. (2025). Carbon nanotube reinforcement for cementitious composites: Advancing thermal stability, mechanical strength and durability in fire-resistant concrete. *Journal of Building Engineering*, **111**, 113587. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113587>
28. Das A., Bošnjak J., Sharma A. (2025). Experimental investigations on the bond performance of reinforced concrete beam with lap splices after fire exposure. *Journal of Building Engineering*, **114**, 114118. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.114118>
29. Numanović M., Knobloch M., Sultangirova A. (2025). Structural fire performance of steel-concrete composite girders in web shear buckling: Advanced numerical analysis. *Engineering Structures*, **342**, 120966. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120966>
30. Bošnjak J., Das A., Sharma A. (2024). Influence of concrete cover and transverse reinforcement on residual post-fire bond performance of reinforcement in concrete. *Engineering Structures*, **314**, 118191. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118191>