

Комбинированные элементы (префабы) как технологическая оснастка для усиления строительных конструкций композитными материалами

С.Д. Черноглазов¹, Ю.С. Кунин², А. Л. Мочалов³

¹АО НИЦ «Строительная экспертиза», г.Москва

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

³ООО «СигмаТех», г. Москва

Аннотация: В данной статье рассматривается вопрос применения технологической оснастки при усилении строительных конструкций композитными материалами. Проводится описание особенностей и конструктивное исполнение, а так же материалы применяемые при изготовлении технологической оснастки (префабов). Данный материал может быть полезен студентам, магистрам, аспирантам, а так же специалистом строительной отрасли занимающихся усилением строительных конструкций полимер-композитными материалами.

Ключевые слова: Элемент, комбинированный элемент, железобетонные конструкции, усиление, технологические решения, полимер-композитные материалы, префабы, технологические оснастки, оснастка, средства малой механизации.

Усиление строительных конструкций композитными материалами – это прогрессивный метод, позволяющий увеличить несущую способность и долговечность строительных конструкций зданий и сооружений без значительного увеличения их собственного веса и геометрических параметров. Ключевым элементом успешного применения этой технологии является грамотно разработанная и используемая технологическая оснастка (префабы). Традиционные методы усиления конструкций композитными материалами, такие как ручная выкладка, могут быть трудоемкими, требовать высокой квалификации персонала и приводить к нестабильному качеству. Увеличение производительности труда, улучшение показателей качества производства, а так же рост эффективности, можно достигнуть с помощью применения современных организационно-технологических мероприятий и приспособлений (оснастки).

Основная цель применения оснастки – это оптимизация производственных процессов. Её применение способствует сокращению

трудозатрат, улучшению качества продукции, повышению производительности и сокращению времени производства [1].

В настоящее время наблюдается активное развитие и совершенствование оснастки для усиления строительных конструкций композитными материалами [2, 3].

Основные тенденции включают:

Автоматизацию процессов: Разработка и внедрение автоматизированных систем для нанесения и формовки композитных материалов, что позволяет значительно увеличить скорость и точность выполнения работ.

Использование цифровых технологий: Применение 3D-сканирования и моделирования для создания индивидуальной оснастки, адаптированной к сложной геометрии усиливаемых конструкций.

Разработка "умной" оснастки: Внедрение датчиков и систем мониторинга для контроля параметров процесса усиления, таких как температура, давление и влажность, что позволяет оперативно реагировать на отклонения и обеспечивать оптимальные условия для твердения композитных материалов [4].

Создание универсальной оснастки: Разработка модульных систем, которые могут быть адаптированы для усиления различных типов конструкций, что позволяет снизить затраты на приобретение и хранение специализированного оборудования.

Использование экологически чистых материалов: Применение биоразлагаемых и перерабатываемых материалов для изготовления оснастки, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Технологическая оснастка служит одним из основных элементов, при помощи которого осуществляется точность производства работ, рост производительности труда, снижение затрат на расход материалов.

На рис. 1 показан комбинированный элемент (префаб) являющийся технологической оснасткой при усилении ребристых железобетонных плит перекрытия и покрытия композитными материалами [5].

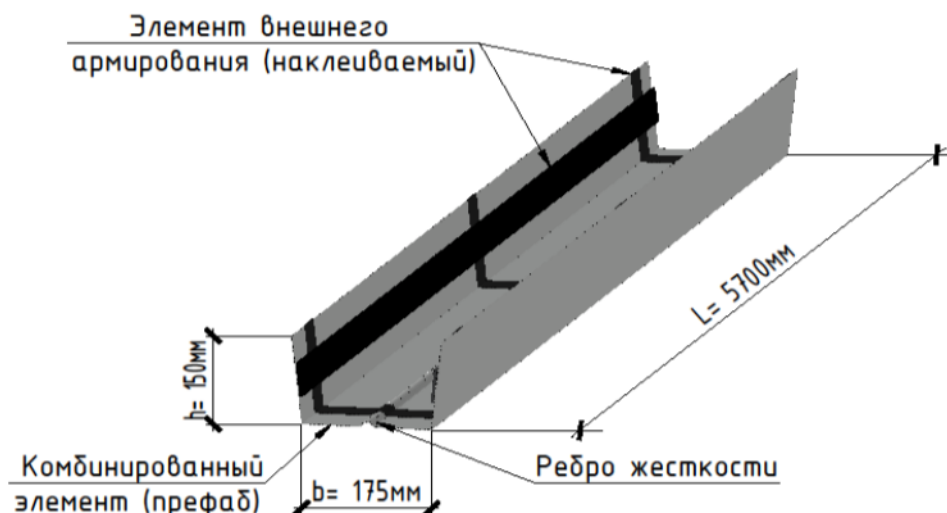


Рис. 1. – Префаб [11].

Комбинированные элементы (префабы) представляют собой заранее изготовленные, готовые к монтажу элементы, состоящие из [6]:

1. Лотка: Специально разработанной формы, обеспечивающей точное позиционирование и фиксацию композитных материалов на усиливаемой конструкции.

2. Композитного материала: Углеродное, стекловолоконное или базальтовое волокно, пропитанное полимерной матрицей (эпоксидной, полиэфирной и т.д.).

3. Адгезионное заполнение из полимер-цементного состава со свойствами, обеспечивающими компенсационные усадки, тиксотропность и дисперсное армирование.

Оснастка (лоток) может быть выполнен из различных материалов, таких как:

1. Полимеры: Обеспечивают легкость, гибкость и возможность создания сложных форм.

2. Металлы: Гарантируют высокую прочность и долговечность.

3. Комбинированные материалы: Сочетают преимущества полимеров и металлов.

Префаб (комбинированный элемент) – в виде лотка, который изготавливается из тонколистовой стали или пластика и т.д. Изготавливается под форму ребер железобетонных ребристых плит для их усиления. Сам префаб не является конструктивным элементом усиления, но используется как вспомогательное приспособление (оснастка) для композитного материала, при помощи которого выполняются работы по ремонту и увеличению несущей способности конструкции. Префабы могут изготавливаться различных форм и размеров, в зависимости от форм и геометрических параметров усиливаемых конструкций.

После изготовления лотка, на его обезжиренную внутреннюю поверхность приклеивают на эпоксидный компаунд силовые элементы из углепластика (углехолст, ламель) [7].

Сечение силовых элементов подбирается по результатам поверочных расчетов, затем наносится песчаная засыпка на незатвердевший компаунд, для обеспечения совместной работы комбинированного элемента с ребром усиливаемой железобетонной плиты.

Техническим результатом является – увеличение несущей способности плит перекрытия и покрытия, ремонт защитного слоя без наращивания сечения рабочей арматуры, восстановление механических повреждений защитного слоя, если коррозионные повреждения рабочей стержневой арматуры отсутствуют, а так же компенсация дефицита рабочей стержневой арматуры по результатам проверочного расчета, выполняемого во время комплексного обследования здания или сооружения [8].

На рисунке 2 представлена схема крепления префаба к ребрам усиливаемых плит.

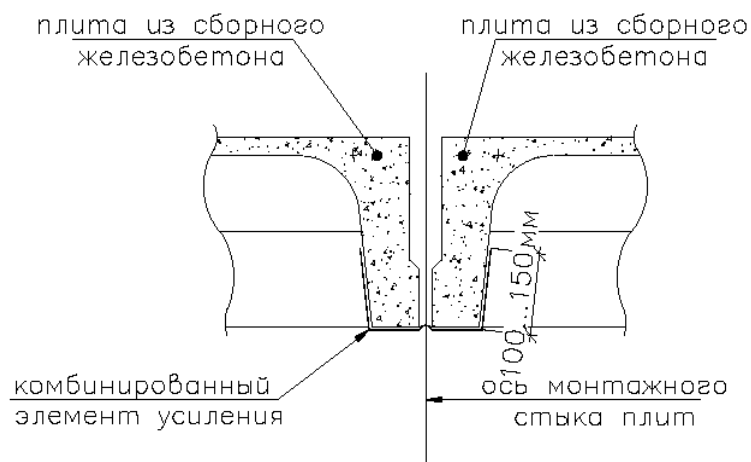


Рис. 2. – Схема крепления префаба к ребрам усиливаемых плит

Подготовительные работы перед усилением строительных конструкций включают в себя [9]:

1. Изготовление ЛСТК С-образного внешнего короба под пролет усиливаемых ребер длиной 5.6-5.7 метров.
2. Подготовка внутренней поверхности ЛСТК С-образных элементов (обезжиривание).
3. Монтаж силового элемента из углепластика (углехолст, ламель) требуемого по расчету сечения на внутреннюю поверхность с помощью эпоксидного компаунда.
4. Нанесение песчаной засыпки на незатвердевший эпоксидный компаунд для обеспечения совместной работы комбинированного элемента с ребром усиливаемой железобетонной плиты .

Перед монтажом выполняется подготовка поверхности строительных конструкций [10]:

1. Удаление поврежденного слоя бетона;
2. Зачистка от коррозии арматурных стержней;

3. Обеспыливание поверхности контакта;

Наиболее ответственным этапом усиления является обеспечение надежного сцепления усиливающего углепластикового элемента с бетоном. Данная задача решается путем крепления (пристрелкой) на строительные гвозди префаба к ребрам усиливаемой конструкции.

В случае возникновения необходимости восстановления защитного слоя на ребрах усиливаемых плит, перед монтажом выполняют приготовление тиксотропного полимер-цементного ремонтного состава и закладывают его в конструкцию внешнего короба, затем выполняется установка комбинированного элемента внешнего армирования на усиливаемую конструкцию плиты перекрытия или покрытия, выставив в проектное положение осуществляют крепление к конструкции, обеспечивая надежное крепление к конструкции и совместную работу.

Данная технология внешнего армирования обеспечивает индустриальный подход, надежную адгезию углепластика, быстрый монтаж при любых температурах, а так же возможность пооперационного контроля.

Проанализировав зарубежный и отечественный опыт ремонтно-восстановительных работ по усилению строительных конструкций полимер-композитными материалами, можно сделать однозначный вывод, о том, что применение технологической оснастки является эффективным методом ремонтно-восстановительных работ и обеспечивает:

1. Рост производительности.
2. Снижение трудозатрат.
3. Увеличение результативности технологических процессов по восстановлению конструкций композитными материалами.
4. Сокращение расхода материалов и брака.
5. Рост безопасности труда рабочего персонала.
6. Увеличение качества производства работ.

Применение специализированной оснастки является неотъемлемой частью процесса усиления строительных конструкций композитными материалами. В конечном итоге, это приводит к увеличению срока службы строительных конструкций и повышению их надежности. Поэтому, при планировании работ по усилению композитными материалами, необходимо уделять особое внимание выбору и применению соответствующей оснастки.

Литература

1. Shmoilov E. E., Fedotov M. Yu., Sharutin I. A. [et al.] Polymer Composites for External Reinforcement of Building Structures // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20, No. 1. – pp. 21-34. – DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-1-21-34. – EDN IVBBPJ.
2. Strengthening of concrete structures with composite based on carbon fiber // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Доклады конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19–23 апреля 2021 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – Р. 613-616. – EDN GMTRZV.
3. Абу-Хасан, М. С., Федоров А.М. Исследование особенностей поведения внутренних усиления гибридной балочной строительной конструкции из композитного материала // III Бетанкуровский международный инженерный форум: Сборник трудов, Санкт-Петербург, 02–03 декабря 2021 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2021. – С. 19-22. – EDN WGYGMC.
4. Дьяков, А. В. Усиление несущих строительных конструкций углеродными композитными материалами // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 78-80. – EDN LQEYSS.

-
5. Егоров, В. В., Абу-Хасан, М. С., Федоров А.М. Поиск рациональной формы внутреннего типа усиления гибридной балочной строительной конструкции из композитного материала // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 9(1045). – С. 33-37. – EDN GBNNCR.
 6. Егоров, В. В., Абу-Хасан, М. С., Федоров А.М. Усиления стальной стенки гибридной балочной строительной конструкции композитными материалами // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии: Материалы VIII Международной научно-практической интернет-конференции, Санкт-Петербург, 23 июня 2021 года. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2021. – С. 10-15. – EDN UPPPVA.
 7. Карамова, Р. А., Логода Р.А. Особенности усиления строительных конструкций композитными материалами // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 161-165. – EDN SVQWMT.
 8. Корнюхин, А. В., Баишева Д.Р. Усиление строительных конструкций композитными материалами по технологии внешнего армирования // Современные научные исследования и инновации. – 2020. – № 1(105). – С. 11. – EDN PUDJQU.
 9. Мурашов, А. О., Абрамов М.А. Оценка эффективности применения композитных материалов для усиления строительных конструкций // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2020. – № 1. – С. 469-472. – EDN TMCGMS.
 10. Федоров, А. М. Анализ зон эффективного усиления стальной стенки гибридной балочной строительной конструкции композитными материалами // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 5(1041). – С. 52-57. – EDN CIPBBG.
-

References

1. Shmoilov E. E., Fedotov M. Yu., Sharutin I. A. [et al.] International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Vol. 20, No. 1. pp. 21-34. DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-1-21-34. EDN IVBBPJ.
2. Strengthening of concrete structures with composite based on carbon fiber. Izbrannye doklady 67-j Universitetskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh: Doklady konferencii studentov i molodyh uchenyh, Tomsk, 19–23 aprelya 2021 goda. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2021. pp. 613-616. EDN GMTRZV.
3. Abu-Hasan, M. S., Fedorov A.M. III Betankurovskij mezhdunarodnyj inzhenernyj forum: Sbornik trudov, Sankt-Peterburg, 02–03 dekabrya 2021 goda. Tom 1. Sankt-Peterburg: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I, 2021. pp. 19-22. EDN WGYGMC.
4. D'yakov, A. V. Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskij vestnik). 2021. № 4. pp. 78-80. EDN LQEYSS.
5. Egorov, V. V., Abu-Hasan, M. S., Fedorov A.M. BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2021. № 9(1045). pp. 33-37. EDN GBNNCR.
6. Egorov, V. V., Abu-Hasan, M. S., Fedorov A.M. Innovacionnye tekhnologii v stroitel'stve i geoekologii: Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, Sankt-Peterburg, 23 iyunya 2021 goda. Moskva: OOO "Izdatel'stvo "Sputnik+", 2021. pp. 10-15. EDN UPPPVA.
7. Karamova, R. A., Logoda R.A. Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskij vestnik). 2021. № 1. pp. 161-165. EDN SVQWMT.
8. Kornyuhin, A. V., Baisheva D.R. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2020. № 1(105). P. 11. EDN PUDJQU.
9. Murashov, A. O., Abramov M.A. Molodye uchenye - razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK). 2020. № 1. pp. 469-472. EDN TMCGMS.



10. Fedorov, A. M. BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2021. № 5(1041). pp. 52-57. EDN CIPBBG.

Дата поступления: 27.05.2025

Дата публикации: 25.07.2025