

УДК 624.011.01

ВЛАШТУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО АРМУВАННЯ БАЛОК ІЗ КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ

С. Гомон, к. т. н., професор
ORCID ID: 0000-0003-2080-5650

М. Поліщук, аспірант
ORCID ID: 0000-0003-1981-8008

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

<https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.044>

Гомон С., Поліщук М. Влаштування комбінованого армування балок із клесної деревини

Підвищити несучу здатність та жорсткість будівельних конструкцій, виготовлених із деревини, які працюють на поперечний згин, можна за допомогою вклеювання металевої арматури. Проте останнім часом із розвитком нових технологій та високоміцних матеріалів для армування будівельних елементів використовують композитну арматуру. Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) – композитна арматура, яка являє собою полімерні матриці, всередину яких поміщені поздовжні безперервні вуглецеві волокна. Завдяки своїй високій міцності ці волокна сприймають навантаження, а матриця розподіляє їх на всі волокна рівномірно. До того ж, застосування композитної арматури має низку переваг: невелика вага, висока міцність, стійкість до корозії, простота застосування та ін.

На сьогодні актуальним залишається питання дослідження сумісної роботи такої арматури із сталевую у дерев'яних конструкціях.

Розглянуто варіант комбінованого армування клесних дерев'яних балок з використанням сталеві арматури у формі двох стрижнів діаметром 12 мм класу А500С та композитної арматури у вигляді стрічки з вуглепластику Sika CarboDur S-512. Сталеву арматуру розміщували у пазах стиснутої зони балки, а композитну приклеювали ззовні розтягнутої зони. Таким чином намагалися за рахунок комбінованого армування збільшити несучу здатність і жорсткість армованого елемента з деревини.

Для виготовлення балок використовували соснові дошки товщиною 25 мм зі середньою вологістю 11-12%. Сталеву стрижневу арматуру вклеювали за допомогою епоксидного клею з використанням наповнювача – кварцового піску. Для приклеювання стрічки в розтягнутій зоні елемента з деревини застосовано клей Sikadur-30. Для запобігання відриву стрічки здійснювали її анкерування за допомогою полотна з вуглецевих волокон SikaWrap в опорній частині елемента.

Позитивний результат у якісному виготовленні елемента з клесної деревини з комбінованим армуванням значною мірою досягається завдяки дотриманню вимог технологічного режиму за підготовки матеріалів, виготовлення та проведення робіт з влаштування комбінованого армування.

Ключові слова: клесна деревина, армування, сталева арматура, вуглепластикова арматура.

Homon S., Polishchuk M. The mechanism of combined reinforcement of glued wooden beams

Load-carrying capacity and stiffness of building constructions, made of wood, can be increased at work on the transverse bending by reinforcing them with metal reinforcement. However, recent development of new technologies and high-strength materials use composite armature for the reinforcement of building elements. Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) is a composite reinforcement, consisting of polymer resin matrix with longitudinal continuous carbon fibers. Those fibers carry the loads due to their high strength, and the matrix distributes them across all the fibers. Moreover, the use of composite reinforcement has several advantages, particularly low weight, high strength, corrosion resistance, ease of use, etc.

Currently, the actual issue for research is to study joint work of composite reinforcement with steel armature in wooden structures.

The article considers the variant of combined reinforcement of glued wooden beams, using steel fittings in the form of two 12 mm A500S rods and composite reinforcement in the form of a carbon fiber plate Sika CarboDur S-512. Steel fittings were located in the grooves of the compressed beam zone, and the composite was glued to the outside of the stretched zone. Thus, an attempt is made to increase the bearing capacity and stiffness of the reinforced wooden element due to combined reinforcement.

Pine boards with 25 mm thickness and the average humidity of 11-12% were used to make beams. The steel bar reinforcement was glued, using epoxy adhesive with quartz sand filler. Sikadur-30 adhesive was applied to bind the plate to the stretched zone of the wooden element. In order to prevent plates separation, they were anchored, using carbon fiber fabric SikaWrap-230 in the supporting parts of the beam.

The positive result of a well-manufactured glued wooden element with combined reinforcement is primarily achieved by adhering to the requirements of the technological regime in preparation of materials, manufacturing and conducting works on the arrangement of reinforcement.

Key words: glued wood, reinforcement, steel reinforcement, carbon fiber reinforced plastics.

Постановка проблеми. Як відомо, підвищити міцність та жорсткість будівельних конструкцій, виготовлених із деревини [1; 2] та бетону, можна за допомогою металевої арматури. Проте останнім часом, із розвитком нових технологій та високоміцних матеріалів, використовують композитну арматуру, яка являє собою полімери (полімерні матриці), всередину яких поміщені поздовжні вуглецеві волокна (CFRP), базальтові (BFRP), скловолокна (GFRP), арамідні та ін. У зв'язку з цим з'являється необхідність дослідження сумісної роботи таких матеріалів з деревиною в будівельних конструкціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато досліджень, зокрема вітчизняних, порушують проблему використання композитної арматури з бетоном та для підсилення залізобетонних конструкцій [3-6]. Проте практично не вивчено питання сумісної роботи металевої та композитної арматури з деревиною та підсилення дерев'яних конструкцій цими матеріалами.

Постановка завдання. Наше завдання – розглянути технологію влаштування комбінованого армування клеєних дерев'яних балок з використанням композитної стрічки та металевої стрижневої арматури.

Виклад основного матеріалу. Для надання додаткової жорсткості досліджуваних нами клеєних дерев'яних балок було влаштовано сталеву арматуру у вигляді двох стрижнів періодичного профілю Ø12 мм А500С, розміщених у пазах стиснутої зони. Водночас для збільшення несучої здатності було використано композитну арматуру з вуглепластику у вигляді стрічки фірми Sika CarboDur S-512, яку наклеювали знизу розтягнутої зони. Композитна арматура з вуглепластику (з англ. Carbon Fibre Reinforced Plastic) (CFRP), поставляється у вигляді стрічки Sika CarboDur та

полотна з вуглецевих волокон SikaWrap (рис. 1). Полотно з вуглецевих волокон SikaWrap є доповненням системи Sika CarboDur та використовується для анкерування стрічки на опорних ділянках з метою запобігання відривання стрічки від деревини розтягнутої зони.

Застосування композитної арматури має низку переваг: невелика вага; міцність на розтяг, більша у сім разів (на відміну від арматури класу А500С); стійкість до корозії; можливість застосування до різних матеріалів (дерево, сталь, бетон); простота застосування (з'єднання з конструкцією, що армується чи підсилюється лише за допомогою шару клею); відсутність обмежень за довжиною та ін.

Єдиним недоліком, що може вплинути на вибір такого матеріалу при армуванні, залишається його відносно висока вартість.

Для приклеювання композитної арматури до бетонних, цегляних, дерев'яних чи інших поверхонь використовують відповідні двокомпонентні клеї на основі епоксидних смол. Відтак для приклеювання стрічки застосовують клей Sikadur-30, а для полотна – Sikadur-330.

Послідовність проведення робіт

1. Влаштування сталевих арматур

Для склеювання балок було використано соснові дошки товщиною 25 мм.

Сталеву стрижневу арматуру вклеювали у передостанню верхню дошку стиснутої зони за допомогою епоксидного клею ЕДП з використанням наповнювача – кварцового піску. Пісок просіювали через сито 0,5 мм та додавали до клею у співвідношенні – клей : наповнювач = 1:2. Арматура прийнята у вигляді двох стрижнів Ø12 мм класу А500С. Арматурні стрижні, після розташування на них тензодатчиків, розміщували у пазах, більших на 1-2 мм від діаметра арматури. Схема армування балки металевою арматурою наведена на рис. 2.



1)



2)

Рис. 1. Загальний вигляд вуглепластикової стрічки CarboDur S-512 (1) фірми Sika та полотна SikaWrap-230 C (2)

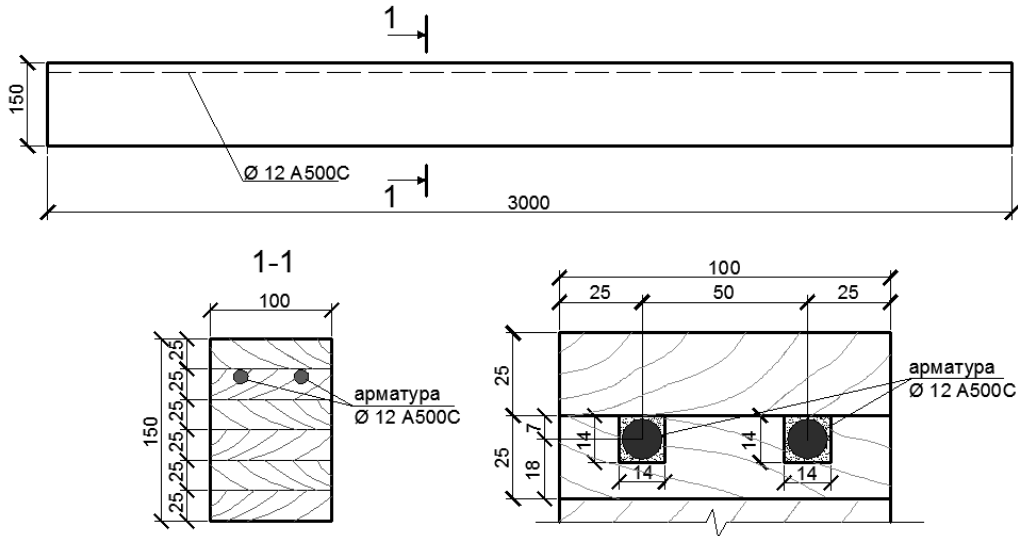


Рис. 2. Схема армування дерев'яної клеєної балки металевою арматурою

2. Влаштування композитної арматури

Основа дерев'яних конструкцій у місцях приклеювання стрічки та полотна була попередньо постругана, очищена від пилу чи будь-яких інших часток, які можуть заважати нормальному щепленню матеріалу з деревиною при склеюванні, і знежирена. Спочатку клеїмо перший шар полотна SikaWrap у припорних ділянках балки з використанням відповідного клею Sikadur-330. Після повного застигання цього шару клеїмо стрічку з використанням Sikadur-30. Так само чекаємо, поки клей набере своєї міцності, та наносимо другий шар полотна поверх стрічки та першого шару SikaWrap. Схема розміщення композитної арматури на дослідній балці показана на рис. 3.

Далі розглянемо детальніше кожен з етапів.

Приготування клею Sikadur-330. Клей представлено у вигляді двох компонентів – компонент А (білого кольору) та В (сірого кольору). Змішування компонентів А : В відбувається за масою у відношенні 4:1. Перемішували частини А та В за допомогою змішувача (з частотою обертання до 600 об/хв) з насадкою протягом не менше трьох хвилин для отримання суміші однорідної консистенції світло-сірого кольору. Після цього суміш перемішували на низьких обертах протягом ще однієї хвилини. Необхідно пам'ятати, що час використання клею після змішування компонентів залежить від температури. Він збільшується за нижчих температур (90 хв. – за 10°C) та зменшується за підвищених (30 хв. – за 35°C).

Детальний опис подано у технологічній карті на використання матеріалу [8]. Основні

фізико-механічні характеристики клеїв подані у табл. 1.

Підготовка та приклеювання полотна SikaWrap-230 C. На кутах балки у місцях наклеювання полотна були зроблені фаски радіусом >20 мм, оскільки загинати його категорично заборонено.

Готуємо необхідну довжину та ширину полотна. Проводимо активацію полотна, протерши його чистою ганчіркою, змоченою спеціальним розчином Sika Colma-Cleaner [11]. Після цього чекаємо 30 хв. Фізико-механічні характеристики полотна подані у табл. 2.

За допомогою шпателя чи кісточки наносимо на основу, у місцях, де буде розміщено полотно, перший шар клею Sikadur-330. Просочуємо також полотно цим клеєм та вкладаємо його на шар Sikadur-330. Напрямок волокон SikaWrap спрямовуємо по периметру балки, перпендикулярно до її осі. За допомогою пластикового валика ретельно вкачуємо полотно в шар клею в напрямку волокон так, щоб клей пройшов крізь волокна і рівномірно розподілився поверхнею всієї тканини, не допускаючи утворення складок та зминання полотна. Напуск тканини вздовж волокон повинен становити не менше 100 мм. Далі ще раз кісточкою наносимо невеликий рівномірний шар клею та чекаємо його застигання 24 год.

Після набуття міцності клею обережно шліфуємо поверхню наждачним папером для кращої адгезії за подальшого наклеювання стрічки.

Приготування клею Sikadur-30. Процес приготування аналогічний, за винятком того, що компонент А (білого кольору) та компонент В (чорного кольору) потрібно змішувати у співвід-

ношенні А:В = 3:1. У результаті отримуємо однорідну суміш сірого кольору, готову для приклеювання стрічки. При цьому пам'ятаємо, що

час використання клею за 8°C становить 120 хв. та скорочується із збільшенням температури, і для 35 °C становить уже 20 хв. [7].

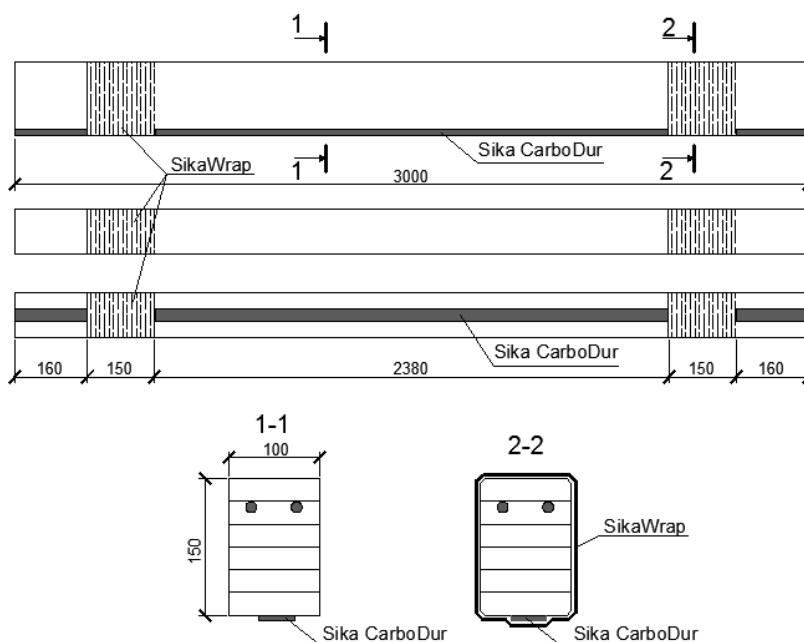


Рис. 3. Схема армування дерев'яної клеєної балки композитною арматурою фірми Sika

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики клеїв

Характеристика	Sikadur-30	Sikadur-330
Хімічна основа	Епоксидна смола	Епоксидна смола
Щільність, за +23°C, кг/л	1,65	1,3
Коефіцієнт температурного розширення	$2,5 \times 10^{-5}$ на °C	$4,5 \times 10^{-5}$ на °C
Час твердіння, за > +23°C, дні	7	7
Міцність на стиск, МПа	70-95	-
Міцність на зріз, за +23°C, МПа	18	-
Міцність на розтяг, МПа	24-31	30
Модуль пружності за стиску, при +23°C, МПа	9 600	-
Модуль пружності за розтягу, при +23°C, МПа	11 200	4 500
Модуль пружності за згину, при +23°C, МПа	-	3 800

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики полотна

SikaWrap-230 C	
Ширина тканини, мм	300
Вага тканини, г/м ²	230 ± 10
Міцність волокон на розтяг, МПа	4300
Модуль пружності волокон, ГПа	238
Деформація руйнування волокон, %	1,8
Модуль пружності ламінату, ГПа	28
Деформаційні руйнування ламінату (max), %	0,6

Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики стрічки

Sika CarboDur S-512	
Ширина, мм	50
Товщина, мм	1,2
Модуль пружності, ГПа	160 - 165
Щільність, г/см ³	1,6
Вміст волокон, %	> 68
Міцність на розтяг, МПа	2800 - 3100
Деформація руйнування (мінімальне значення), %	> 1,70



Рис. 4. Приклеювання стрічки Sika CarboDur S-512 до балки



Рис. 5. Загальний вигляд клеєної дерев'яної балки з комбінованим армуванням під навантаженням

Приклеювання стрічки Sika CarboDur S-512 [9]. Перед наклеюванням проводимо активацію немаркованої сторони стрічки, протерши її ганчіркою, змоченою розчином Sika Colma-Cleaner, та чекаємо після цього 15-30 хв. Шпателем наносимо приготовлений клей Sikadur-30 на очищений бік стрічки. Також наносимо шар клею товщиною 1 мм на підготовлену основу балки. Притискаємо стрічку за допомогою пластикового валика до основи так, щоб клей виступив з двох боків стрічки. Залишки клею видаляємо шпателем (рис. 4). Чекаємо застигання клею 24 години.

Останній етап: зачищаємо стрічку наждачним папером у місцях стику із наступним шаром полотна, а також протираємо ганчіркою, змоченою Sika Colma-Cleaner. Наносимо шар клею Sikadur-330 на перший шар полотна та стрічку, вкладаємо та ламінуємо другий шар полотна SikaWrap аналогічно, як було описано вище.

Після затвердіння клею на зачищену та підготовлену поверхню балки по периметру зони

чистого згину з певним кроком приклеюємо тензодатчики клеєм БФ-2 (рис. 5).

Висновки. Використання композитної арматури Sika CarboDur є ефективним та універсальним методом підвищення несучої здатності будівельних конструкцій. Ми розглянули можливий варіант комбінованого армування з використанням металевої та композитної арматури. Проте, щоб досягти в такий спосіб позитивного результату із підвищення міцності та жорсткості клеєних дерев'яних балок, передусім необхідно точно виконувати технологічний режим та дотримуватись основних вимог підготовки матеріалів.

Бібліографічний список

1. Homon S., Homon S., Homon P., Pavliuk A., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending / AIP Conference Proceedings **2077** 020019 (2019). URL: <https://doi.org/10.1063/1.5091880> (accessed: 26.05.2019).

2. Гомон С. С., Павлюк А. П. Робота балок з клеєної деревини в умовах косоного згинув. *Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2018. № 19. С. 84-89.

3. Борисюк О. П., Мельник С. В. Підсилення згинальних залізобетонних конструкцій сучасними матеріалами. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць*. Рівне, 2010. Вип. 20. С. 459-465.

4. Зятюк Ю. Ю. Операційність технології виконання робіт при підсиленні дослідних залізобетонних зразків (матеріалами фірми Sika). *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць*. Рівне, 2016. С. 466-475.

5. Мельник С. В. Дослідження несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок, підсилені накладеними вуглепластиковими матеріалами. *Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка*. Полтава, 2012. Вип. 2(32). Т. 1. С. 151.

6. Шилин А. Л., Каргузов Д. В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. Москва: Стройиздат, 2007. 184 с.

7. Технологическая карта материала. Идентификационный №: 020401040010000001 Sikadur®-30. Клей, применяемый при усилении конструкций. Издание: 18/07/14; UA_YS_01/2015. 4 с.

8. Технологическая карта материала. Идентификационный номер №: 020401040010000004 Sikadur®-330. Двухкомпонентный эпоксидный клей. Издание: 18/07/2014; UA_YS_01/2015. 4 с.

9. Технологическая карта материала. Идентификационный №: 020206010010000040 Sika® CarbDur® S Ленты из углеродных волокон для усиления конструкций – составная часть системы Sika® CarboDur®. Издание: 24/07/2014; UA_YS_01/2015. 5 с.

10. Технологическая карта материала. Идентификационный №: 020206020010000025 SikaWrap®-230 C/45. Ткань из углеродных волокон для усиления конструкций, Издание: 21/07/2014; UA_YS_01/2015. 4 с.

11. Паспорт безопасности MSDS Colma Cleaner №: 6327 Colma Reiniger 02.09.2010. 8 с.

Стаття надійшла 31.05.2019.