

УДК 694.14

Прочность клеенных стержней на выдергивание при осевом нагружении установленных в LVL элементов с однонаправленным расположением шпонов

Фурсов В.В., д.т.н., Бидаков А.Н., к.т.н., Распопов Е.А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,
Украина

Анотація. Використання клеєних стрижнів для виконання з'єднань дерев'яних конструкцій широко розповсюджено та активно використовується у сучасній будівельній практиці. Клеєний шпоновий брус LVL є новим матеріалом на основі деревини та має характеристики міцності вище, ніж клеєна або цільна деревина. Міцність з'єднань на клеєних стрижнях елементів конструкцій з LVL мало вивчена та потребує досліджень для широкого впровадження цього матеріалу у несучих конструкціях елементів будівельних каркасів цивільних та промислових будівель.

Аннотация. Использование клеенных стержней для выполнения соединений деревянных конструкций широко распространено и активно используется в современной строительной практике. Клееный шпоновый брус LVL является новым древесным материалом и имеет прочностные характеристики выше, чем клееная и цельная древесина. Прочность соединений на клеенных стержнях элементов конструкций из LVL мало изучена и требует исследований для широкого внедрения этого материала в несущих конструкциях элементов строительных каркасов гражданских и промышленных зданий.

Abstract. Glued-in steel rods are wide spread and active applied in modern building practice for joints of timber structures. Laminated veneer lumber (LVL) is a new timber based material. It has strength characteristics higher then glued laminated timber and solid timber. Strength of LVL elements connections with glued-in steel rods is not enough investigated and needs to research for implementation of this material in building constructions.

Ключевые слова: клеенные стержни, осевое выдергивание, клееный шпоновый брус (LVL), Ultralam-R, усиление винтами.

Вступление. Древесный брус на основе шпона LVL (Laminated Veneer Lumber) производится с однонаправленным либо взаимно перпендикулярным расположением шпона в смежных слоях. Поперечные слои шпона могут чередоваться через один или несколько продольных слоев шпона. Продукция Европейского производителя LVL марки Kerto® довольно широко исследована и имеет несколько другие прочностные и упругие характеристики, чем LVL марки Ultralam® (Россия, г. Торжок), поскольку использована древесина северных регионов России. В настоящее время предложен новый вид LVL на основе шпона бука с более высокими показателями прочности и жесткости. Под руководством

проф. Бласса Н. Й. (г. Карлсруэ, Германия) выполняется ряд испытаний по оценке прочности соединений букового LVL (Buchen-FSH), в том числе, изучаются соединения на клеенных стержнях.

Популярность применения клеенных стержней в странах Западной Европы не равномерна, так как выполнение данного типа соединения конструкций требует больших трудозатрат и стоимости, чем установка винтов различных типов. Также сложность контроля качества вклейки стержней затрудняет их частое применение зарубежными коллегами. Автором данного типа соединений среди коллег из Европейских стран принято считать Н. Riberholt [2], поскольку первая работа проф. Турковского С.Б. [1] на английском языке была опубликована на год позже. Однако в отечественных публикациях соединения на клеенных стержнях предложены в середине 80-х годов. В 1986 году подобные решения были осуществлены на электрофизическом комплексе ГИИТ-12-30, эксплуатируемые на открытом воздухе. В течение последних 10 лет были предприняты существенные попытки систематизации и анализа различных методов установки и расчета клеенных стержней различными странами, см. технический отчет Mislav Stepinac [8] выполненный в рамках комитета COST Action FP1004 “Enhancement mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures”.

Например, проект по исследованию соединений на клеенных стержнях GIROD Project (1998–2000) ставил задачи анализа влияния различных факторов на прочность соединений. Рассматривались такие факторы, как толщина клеевого слоя, диаметр стального стержня, расстояния к кромке и расстояние между стержнями, различные виды клея, включая полиуретановый. В этом проекте работали немецкие и шведские исследователи (SP – Swedish National Testing and Research Institute, FMPA Otto-Graf Institute, Germany; University of Karlsruhe, Germany; TRADA Technology, UK; Lund University, Sweden), результаты исследований которых опубликованы в отчете GIROD Project Rapport 2002 [6]. Также проблемы соединений на клеенных стержнях рассматривалась в комитетах COST Action E13 [9] и COST Action E34 [10].

Сегодня в EN 1995-1-1 отсутствуют указания о выполнении расчета и правил установки клеенных стержней, хотя проект второй части Еврокода 5 (EN 1995-2) по проектированию деревянных мостов [11] в приложении С содержит ряд положений по выполнению соединений на клеенных стальных стержнях. Результаты предпринятых усилий в вопросе интеграции методов расчета соединений на клеенных стержнях в Еврокоде 5 хорошо изложены в докладе Larsen [5] «Грустная история клеенных стержней в Еврокоде 5» (The sad story of glued-in bolts in Eurocode 5) на ежегодной Европейской конференции по деревянным конструкциям CIBW-18 в 2011 году.

Матеріали і методи. В лабораторії будівельних конструкцій ХНУСА в 2015–2016 роках були проведені значительні по об'єму дослідження LVL типу R на статическі навантаження для визначення прочностних і еластических характеристик при стисненні під різними кутами. Крім цього виконані випробування балок з'єднанням на клеєних стержнях а також образців на видергування клеєних стержней, изложенные в данной статье.

Статическі випробування на видергування клеєних стержней виконувались із образців LVL з однонаправленим шпоном марки Ultralam® типу R. Поперечне сечення стержней LVL елементів складала 75*75 мм, а довжина 500 мм. Глибина клеїки стержней була прийнята 180 мм з величиною отвору 18 мм. Діаметр одиночних клеєних стержней був прийнят 14 мм, а діаметр стержней установлених по 2 в кожному торці був прийнят 16 мм. Видергування стержней виконувалось путем навантаження елемента з двосторонніми клеєними стержнями на рівну глибину клеїки (рис. 1). Клас прочності сталі сталевих шпильок 5.8. Зарубежні колеги використовують клас прочності сталі клеєних шпильок, як правило, 8.8 или 10.9. Для клеїки стержней використовувався двохкомпонентний епоксидний клей на базі смоли ЭД-20.

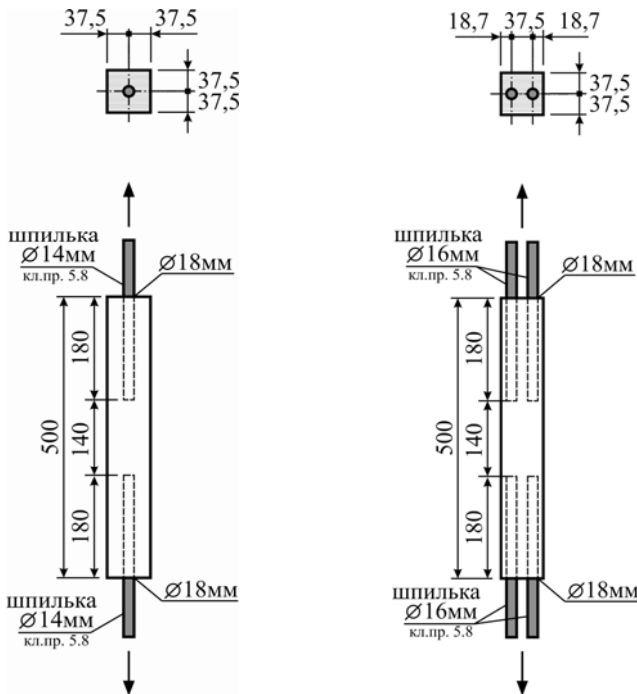


Рис. 1. Схема проведення випробування і геометрические параметри образцов

Принятые расстояния между стержнями и от центра стержня к боковым граням элемента в поперечном сечении меньше величин рекомендуемых для вклеивания стержней в цельную или клееную древесину согласно нормам различных стран, которые содержат соответствующие указания: СП 64.13330.2011 (Россия), DIN 1052:2008-12 (Германия), В 1995-1-1 (Австрия), SIA 265:2012 (Швейцария). Не многие страны содержат указания о правилах выполнения соединений на вклеенных стержнях и методах их расчета, что проанализировано в работе хорватского исследователя Štepić M. [7].

Обсуждение результатов. Схема разрушения образцов имеет типичный хрупкий характер, сопровождающийся выдергиванием стержня с частью древесины (рис. 2) и раскалыванием торцов элементов древесины, в которые вклеены стальные стержни. Результаты испытаний показаны в таблице 1 со схематическими изображениями разрушения торцов каждого образца.

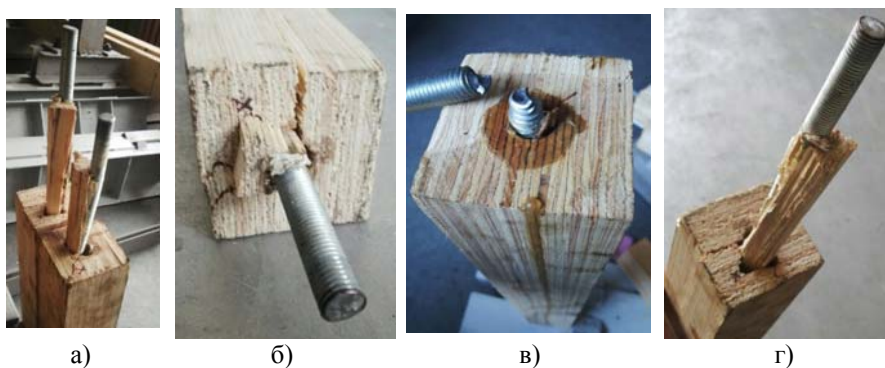














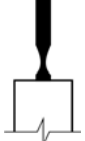



Рис. 2. Схема разрушения образцов

Результат разрушения соединения с разрывом стального стержня (рис. 2 в) еще раз доказывает эффективность вклеенных стержней как метода выполнения жестких стыков элементов не только из клееной древесины, но и элементов из LVL.

Таблиця 1

Результаты испытаний образцов

Номер образца	Один стержень			Два стержня		
	Разрушающая нагрузка, [kN]	Характер разрушения	Примечание	Разрушающая нагрузка, [kN]	Характер разрушения	Примечание
1	58		2 трещины	85		4 трещины
2	53		3 трещины	84,5		4 трещины
3	62		2 трещины	72,5		4 трещины
4	59		4 трещины	84,5		3 трещины
5	60		-	113		2 трещины
6	55		3 трещины			
7	56		2 трещины			
8	60		2 трещины			
9	68		3 трещины			
10	63		разрушение стального стержня			
11	62		1 трещина			

При анализе результатов исследования прочности соединений на клеенных стержнях подтверждены модели разрушения, предложенные Plustochowicz (2010) [3], приведенные на рис. 3. Модель разрушения, наблюдаемая при испытаниях, зависит от ряда факторов, среди которых доминируют способ клеивания стержней и характер работы узла.

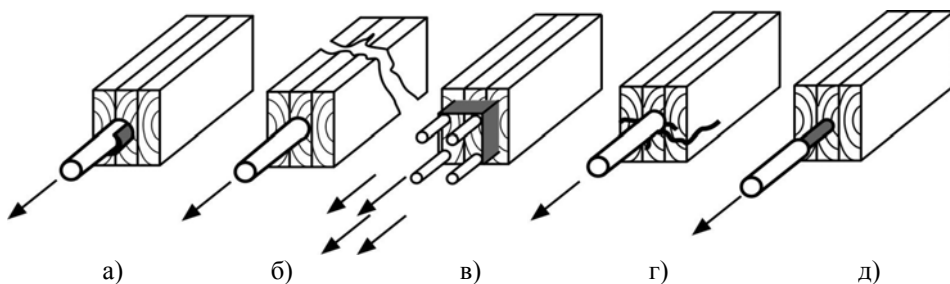


Рис. 3. Модели разрушения соединений древесины на клеенных стержнях, согласно Plustochowicz и др. (2010) [3]:

- а) скалывание древесины (сдвиговое разрушение); б) разрушение при растяжении древесины; в) блоковое сдвиговое разрушение; г) раскалывание; д) разрушение стержня

Для решения проблемы раскалывания LVL в торцевой части в работах N. Meyer [4] и S. Harris [12] предлагают усиление торцевой части, путем установки винтов в двух плоскостях перпендикулярно оси клеенного стержня. Также возможно выполнение одностороннего усиления, если LVL элемент имеет слои шпона с поперечным направлением волокон относительно большинства слоев шпона, см. рис. 4.

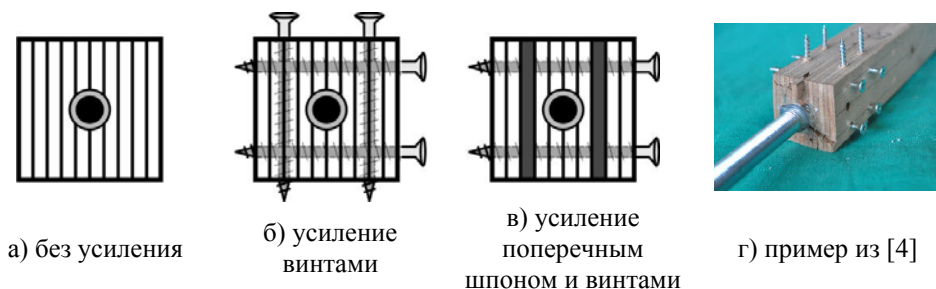


Рис. 4. Схема установки винтов при раскалывании торцов с клееными стержнями

В результате усиления торцевой части винтами механизм разрушения образцов становится вязким, что является положительным эффектом для соединений строительных конструкций.

Анализ показателей разрушающей нагрузки относительно вида разрушения, а именно, количество трещин или расколов, наблюдаемые при испытаниях, графически показано на рис. 5, для образцов с одним и двумя клееными стержнями. Прочность образца без расколов или с малым их числом показывают более высокие показатели прочности, чем образцы, разрушающиеся с множественными расколами или трещинами.

Наблюдаемая тенденция снижения прочности с увеличением количества расколов (трещин) в образцах объясняет необходимость выполнения конструктивных мер в виде установки винтов. Механизм разрушения, сопровождающийся раскалыванием торцов, является менее желательным, чем выдергивание древесины вокруг стержня. Установленные винты увеличивают показатели прочности соединений на клеенных стержнях и позволяют достигнуть вязкого характера разрушения.

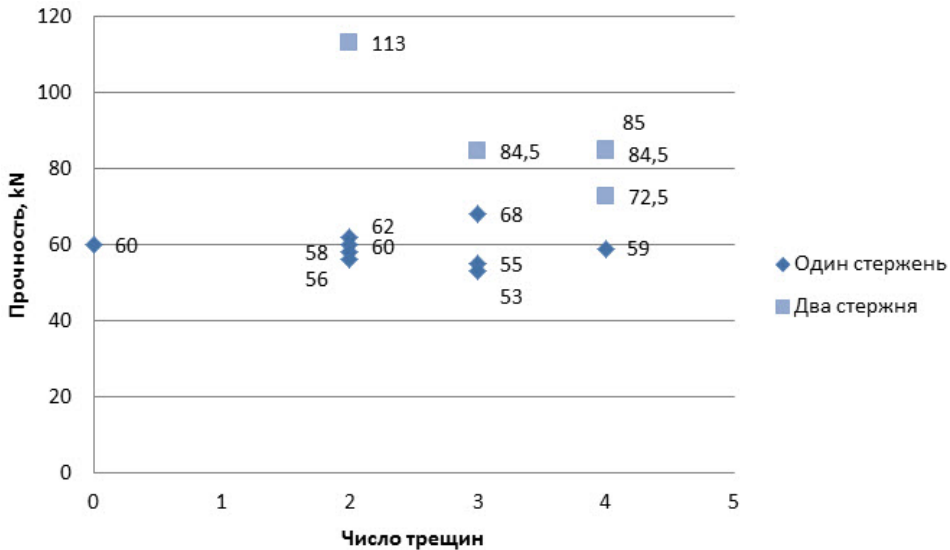


Рис. 5. Прочность соединений и количество трещин при разрушении

Превентивные конструктивные решения в виде установки винтов, препятствующих раскалыванию древесины в соединениях, активно используются в Германии, Австрии, Швейцарии, но отражены только в национальных нормах Австрии, в ON B 1995-1-1:2015 и отсутствуют в Еврокоде 5 (EN 1995-1-1). Несмотря на это, усиление элементов конструкций винтами (шурупами) различного типа на проектной стадии в Западноевропейских странах общепринято и выполняется для усиления опорных зон балок, коньковых зон гнутоклеенных и двускатных балок, а также при усилении различного типа подрезок и перфораций.

Выводы

Результаты анализа испытаний клеенных стержней, установленных в элементы из шпонового бруса (LVL) Ultralam® типа R при осевом растяжении, позволяют считать возможным использовать такие решения в несущих конструкциях различного типа. Характер разрушений образцов подтверждает необходимость выполнения усиленных торцов элементов с клееными стержнями для увеличения прочности соединения и достижения вязкого разрушения. Разрушения армирующего стального стержня класса прочности 5.8 подтверждает рекомендации ученых Западной Европы использовать для клеенных стержней класс прочности минимум 8.8. Для решения вопроса равнопрочности такого соединения возможно увеличение глубины клейки, что планируется проводить в дальнейших работах.

Литература

- [1] Turkovsky S. B. Designing of wood glued structures joint on glued-in bars / S. B. Turkovsky // Proceedings of the 22nd conference of CIB-W18 (Berlin, German Democratic Republic). – 1989. – Paper 22-7-13.
- [2] Riberholt H. Glued bolts in glulam – proposals for CIB code / H. Riberholt // Proceedings of the 21st conference of CIB-W18 (Parksville, Canada). – 1988. – Paper 21-7-2.
- [3] Tlustochowicz G. State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods / G. Tlustochowicz, E. Serrano, R. Steiger // Material and Structures. – 2011. – No. 44. – P. 997–1020.
- [4] Meyer N. Zugbeanspruchte Verbindungen in Buchenurnierschichtholz / N. Meyer // Karlsruher Tage 2016 – Holzbau: Forschung für die Praxis. – Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2016. – S. 1–18.
- [5] Larsen H. J. The sad story of glued-in bolts in Eurocode 5 / H. J. Larsen // CIB-W18, A review of meeting. – 2011. – Essay 4. – P. 31–43.
- [6] GIROD – Glued in Rods for Timber Structures // SP Rapport 2002:26. – Borås : Building Technology, 2002.
- [7] Stepinac Mislav. Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards [Электронный ресурс] / [Stepinac, Mislav; Hunger, Frank; Tomasi, Roberto; Serrano, Erik; Rajčić, Vlatka; van de Kuilen, Jan-Willem] // CIB-W18 (2013). – Режим доступа:
http://costfp1004.holz.wzw.tum.de/fileadmin/tu/wz/costfp1004/CIB_Paper_Stepinac_et_al_-_46-07-10_copy.pdf – Название с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).

- [8] Stepinac M. Joints in beech-LVL timber frames. Report of a short term scientific mission COST Action FP1004 “Enhance mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures” (2014). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://costfp1004.holz.wzw.tum.de/fileadmin/tu/wz/costfp1004/2012_05_STSM_report_Stepinac_Mislav.pdf – Название с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).
- [9] COST Action E13 Wood Adhesion and Glued Products, Working Group 2: Glued Wood Products (2002) State of the Art : Report [Электронный ресурс] / [Editors: Carl Johan Johansson, Tony Pizzi, Marc Van Leemput]. – Режим доступа: <http://users.teilar.gr/~mantanis/E13-Glued-Products.pdf> – Название с экрана. – (Дата обращения 01.12.2016).
- [10] Serrano E. Glued-in rods / E. Serrano, R. Steiger, P. Lavischi // Bonding of timber :core document of the COST Action E34. Lignovisionen. – 2008. – Issue 18. – P. 31–39.
- [11] Eurocode 5. Design of timber structures. Part 2: Bridges : prEN 1995-2 : final project team draft (Stage 34) / European Committee for Standardization CEN (2003) // Document CEN/TC 250/SC 5. – CEN, Brussels. – No. 198.
- [12] Harris S. Fire Resistance of Epoxy-grouted Steel Rod Connections in Laminated Veneer Lumber (LVL) / S. Harris // Fire Engineering Research Report. – 2004. – No. 04/7. –(Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand).

Надійшла до редколегії 29.11.2016 р.