RESEARCH ON STATE OF THE STRESS - DEFORMATION OF COMPONENTS IN THE CONNECTION "STEEL - WOOD" OF THE FRAME USING WOODEN STRUCTURES LVL.

NGHIÊN CỨU TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT - BIẾN DẠNG CÁC THÀNH PHẦN TRONG LIÊN KẾT « THÉP - GỖ » CỦA KẾT CẤU KHUNG SỬ DỤNG GỖ DÁN CHỊU LỰC LVL.

Trần Quốc Phong, Đoàn Cường Quốc
Trường Đại học Quảng Bình

ABSTRACT: *This paper presents the development of stress and deformation in the customization of connections "Steel-wood" of the wooden structures LVL frame. To achieve an effective working state of the connections, it is necessary to optimize the bearing capacity of the components in the connections. When analyzing the working mechanism of the connecting components (wooden structures, self-drilling steel dowels, steel plates), necessary to take into account the crushing stress of the wood elements, as well as the bending mechanism of each dowel and the deformation of the steel plates at the location of contact with the dowels in the connection. Finite element methods and experimental methods are carried out to analyze the working mechanism of the connections "Steel-wood". A proposed solution for connection is by using steel plates of different sizes to redistribute the stress on the dangerous plane and increase the bearing capacity of the connections.*

Keywords: *Connection "Steel-wood", Wooden structures LVL, self-drilling steel dowel, stress, plastic joint.*

TÓM TẮT: *Bài báo trình bày về sự phát triển ứng suất và biến dạng trong các tùy biến liên kết thép - gỗ của kết cấu khung gỗ dán LVL. Để đạt được trạng thái làm việc hiệu quả của liên kết, cần tối ưu khả năng chịu lực của các thành phần trong liên kết. Khi phân tích cơ chế làm việc của các thành phần liên kết (kết cấu gỗ, chốt thép tự khoan, bản thép), cần tính đến ứng suất nghiền của các phần tử gỗ, cũng như cơ chế uốn của từng chốt và sự biến dạng của các tấm thép tại điểm tiếp xúc với các chốt trong liên kết. Phương pháp số sử dụng chương trình phần tử hữu hạn và phương pháp thực nghiệm được thực hiện để phân tích cơ chế làm việc của liên kết «thép - gỗ». Một giải pháp được đề xuất cho các mối nối chốt bằng sử dụng các tấm thép có kích thước khác nhau để phân bố lại ứng suất trên mặt phẳng nguy hiểm và tăng khả năng chịu lực của mối nối.*

Từ khóa: *Liên kết thép - gỗ, kết cấu gỗ dán LVL, chốt thép tự khoan, ứng suất, khớp dẻo.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gỗ dán công nghiệp (LVL, CLT…) đang là xu thế phát triển của vật liệu tái tạo trong công nghệ xây dựng hiện đại, dần thay thế các loại vật liệu truyền thống như gạch, đá, bê tông và thép. Có nhiều cuộc thảo luận ở Châu Âu, Nga và một số nước phát triển về việc sử dụng các cấu trúc gỗ

dán làm kết cấu chịu lực trong xây dựng. Cấu trúc bằng gỗ LVL là vật liệu dị hướng, độ bền của chúng thay đổi theo các hướng khác nhau [1, 3, 4], cường độ nén dọc theo thớ gỗ, sức căng và độ uốn khác nhau. Việc nghiên cứu ứng suất - biến dạng và tính chất dị hướng của vật liệu gỗ trong khung, liên kết, ảnh hưởng của chúng đến biến dạng, chuyển vị tổng thể công trình có ý nghĩa về mặt khoa học và thực tiễn. Trong kết cấu khung, khả năng chịu lực của các liên kết (nút khung) đóng vai trò quan trọng đến khả năng chịu lực và chuyển vị tổng thể. Tối ưu liên kết « thép - gỗ » phụ thuộc vào cấu tạo, cách phân bố các tấm thép, chốt thép tự khoan và việc sử dụng các loại kết cấu gỗ khác nhau để đạt được liên kết làm việc ở trạng thái dẻo [5, 6].

Nghiên cứu sử dụng kết quả thí nghiệm các sơ đồ liên kết khác nhau bằng cách sử dụng chốt thép tự khoan với ba tấm thép với những tùy biến kích thước [7, 10, 11]. Để phân tích các yếu tố ứng suất-biến dạng trong liên kết, chuyển vị của các tấm so với thành phần gỗ dán LVL được kiểm soát bằng cách sử dụng cảm biến đo biến dạng tương đối và cho kết quả bằng hiển thị điện tử. Mục đích nghiên cứu là phân tích trạng thái ứng suất-biến dạng của các phần tử liên kết khi thay đổi phương án, sau đó xác định khả năng chịu lực của các liên kết trong kết cấu tương ứng. Mục tiêu của nghiên cứu là so sánh và phân tích độ bền của liên kết sử dụng chốt tự khai thác trong lực căng, kết quả thu được bằng phương pháp số và thực nghiệm.

Một giải pháp được đề xuất cho các liên kết chốt bằng sử dụng các tấm thép có kích thước khác nhau để phân bố lại ứng suất trên mặt phẳng làm việc và tăng khả năng chịu lực của liên kết.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Cơ sở lý thuyết

Cơ chế hoạt động của một chốt trong mặt phẳng cắt, trong điều kiện dẻo đồng thời của kết cấu gỗ dán LVL và chốt thép tự khoan khi liên kết với thép tấm, đã được đề cập trong nghiên cứu của tác giả [10, 11]. Cơ chế hoạt động của một chốt thép tự khoan trong mặt phẳng cắt, để xác định điều kiện dẻo của kết cấu gỗ và chốt thép khi liên kết với thép tấm, tùy thuộc vào hệ số độ mảnh [8, 9]

$$\sqrt{\lambda_{ef}} = t / d \qquad (1)$$

Xác định hệ số độ mảnh giới hạn của chốt thép đối với liên kết cùng một số tấm thép theo công thức:

$$\lambda_y = 4 \cdot \sqrt{\frac{M_u}{f_h \cdot d^3}} \qquad (2)$$

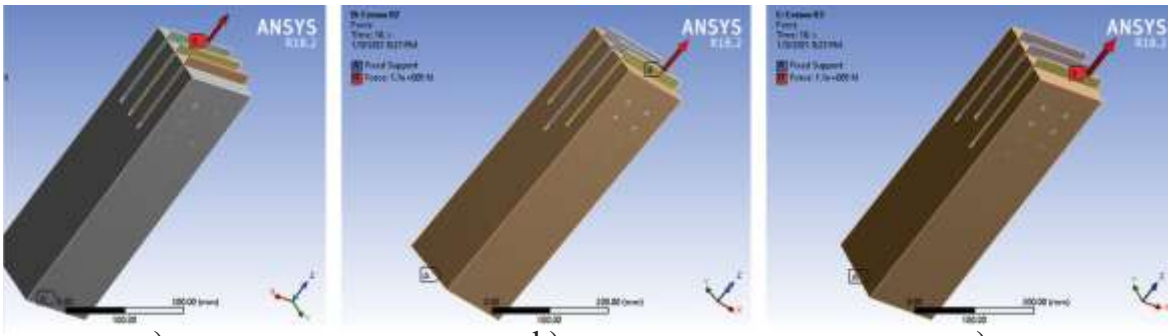
$$\lambda_{ef} < \lambda_y \rightarrow F = 0{,}5\, f_h \cdot t \cdot d$$

Biến dạng uốn của chốt thép nhỏ gây ra phá hoại nghiền nát ở thành phần kết cấu gỗ. Liên kết phá hoại giòn. (3)

$$\lambda_{ef} > \ _y \rightarrow F = 2\sqrt{M_u \cdot f_h \cdot t}$$

Xuất hiện biến dạng dẻo trong chốt thép đồng thời kết cấu gỗ bắt đầu bị nghiền nát. Liên kết phá hoại dẻo. (4)

Sự xuất hiện và số lần biến dạng uốn trên chốt (khớp dẻo) phụ thuộc vào tỷ lệ đường kính của chốt với độ dày của phần gỗ dán LVL. Các sơ đồ khác nhau (C - 01; C - 02; C - 03) của liên kết được thiết lập với việc phân bố các tấm thép kích thước khác nhau cho các thí nghiệm và phân tích số trong chương trình phần tử hữu hạn Ansys 18.2 [2] (Xem Hình 1).



a) b) c)

Hình 1. Sơ đồ kết nối trong mô hình số: a) C-01; b) C-02; c) C-03.

2.2. Thí nghiệm xác định biến dạng tương đối và ứng suất của kết cấu gỗ dán LVL.

Dựa trên phân tích lý thuyết, các tùy biến liên kết «thép - gỗ » được thông qua [11]. Ba phương án kết nối với các tấm thép khác nhau đã được lựa chọn: C-01 ($^{140}140^{140}$); C-02 ($^{140}175^{140}$); C-03 ($^{17}5140^{175}$). Trong đó kí hiệu ($^{140}140^{140}$) thể hiện chiều dài của tấm thép đi vào kết cấu gỗ, tính bằng mm. Việc giảm tiết diện làm việc do khoan và xẻ rãnh trong kết cấu bằng gỗ ảnh hưởng đến ứng suất của chúng.

Hình 2. Thí nghiệm kéo các tùy biến liên kết «thép - gỗ»

Sơ đồ, mẫu thí nghiệm được thiết lập dựa trên tính toán kích thước kết cấu gỗ, kích thước và số lượng chốt thép tự khoan trên cơ sở lý thuyết phá hoại dẻo xảy ra ở liên kết (Hình 2). Kết cấu gỗ bị nghiền nát đồng thời với sự hình thành khớp dẻo của chốt thép trên mặt phẳng nguy hiểm [10]. Việc chất tải các mẫu mối nối được thực hiện theo các khuyến nghị về thử nghiệm mối nối của các kết cấu bằng gỗ dán [12].

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Biến dạng tương đối của thành phần gỗ

Từ cấu trúc của các liên kết, tác giả so sánh sự biến dạng tương đối của phần gỗ bên trong và bên ngoài. Kết quả từ cảm biến đo được biến dạng trong thí nghiệm [10, 11] và kết quả phân tích số được thể hiện trong Bảng 1 và Hình 3.

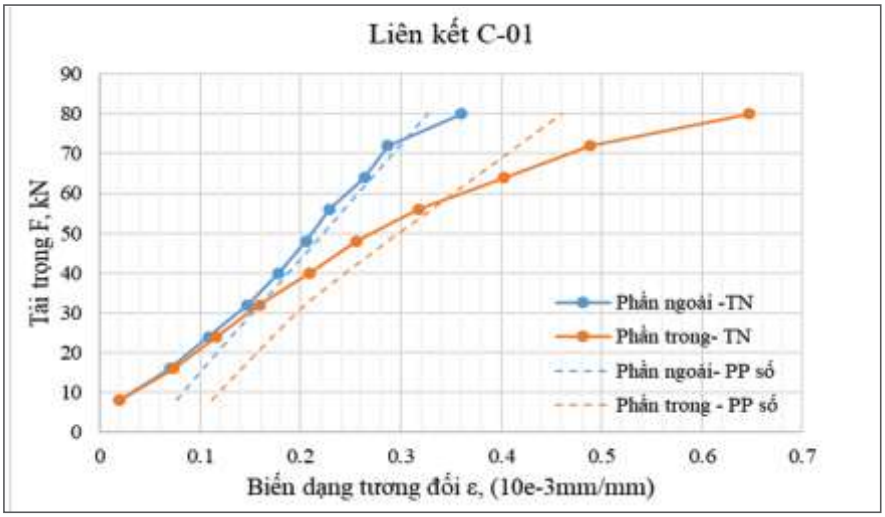
Bảng 1. Các giá trị của biến dạng tương đối trong các sơ đồ khác nhau

Tải trọng (kN)	Liên kết C-01				Liên kết C-02			
	Phần ngoài		Phần trong		Phần ngoài		Phần trong	
	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2 (10^{-3} mm/mm)	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2 (10^{-3} mm/mm)	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2 (10^{-3} mm/mm)	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2 (10^{-3} mm/mm)
8	0.0194	0.0763	0.0194	0.1117	0.0504	0.1170	0.0194	0.1096
16	0.0698	0.1033	0.0736	0.1412	0.0891	0.1443	0.0620	0.1464
24	0.1085	0.1304	0.1163	0.1712	0.1202	0.1720	0.1124	0.1908
32	0.1473	0.1588	0.1589	0.2035	0.1512	0.2023	0.1860	0.2422
40	0.1783	0.1873	0.2093	0.2444	0.1977	0.2337	0.2364	0.2922
48	0.2054	0.2160	0.2558	0.2871	0.2519	0.2635	0.2519	0.3426
56	0.2287	0.2436	0.3178	0.3309	0.3140	0.2937	0.2829	0.3925
64	0.2636	0.2712	0.4031	0.3738	0.4574	0.3243	0.3372	0.4427
72	0.2868	0.2992	0.4884	0.4173	0.5155	0.3551	0.3992	0.4930
80	0.3605	0.3272	0.6473	0.4610	0.5310	0.3867	0.4264	0.5431

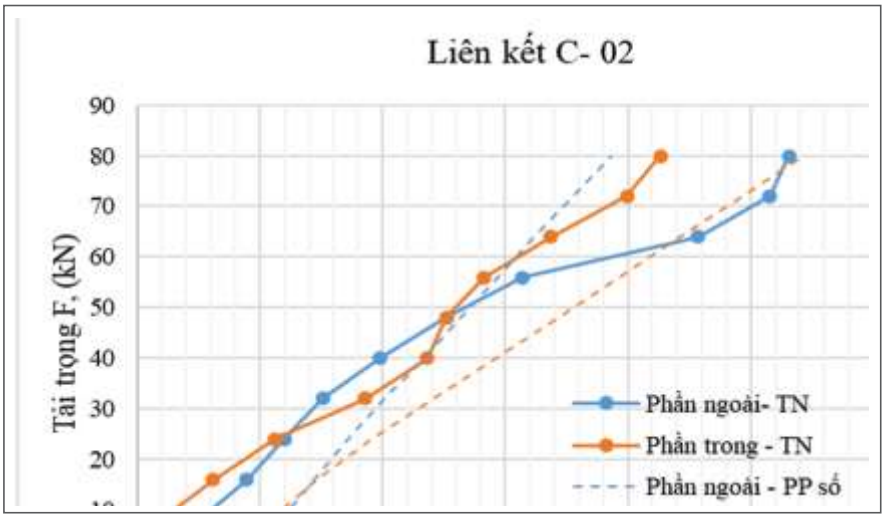
Tải trọng (kN)	Liên kết C-03			
	Phần ngoài		Phần trong	
	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2(10^{-3} mm/mm)	ε_1 (10^{-3} mm/mm)	ε_2 (10^{-3} mm/mm)
10	0.0233	0.0736	0.0155	0.1324
20	0.0698	0.0994	0.0736	0.1862
30	0.0969	0.1251	0.1473	0.2407
40	0.1163	0.1506	0.2093	0.2956
50	0.1240	0.1758	0.2519	0.3510
60	0.1473	0.2022	0.2946	0.4057
70	0.1705	0.2300	0.3411	0.4604
80	0.2016	0.2575	0.3566	0.5143
90	0.2132	0.2847	0.3837	0.5681
100	0.2248	0.3117	0.3876	0.6219

Trong đó ε_1 là độ biến dạng tương đối do cảm biến đo được và được tính toán từ kết quả của thí nghiệm; ε_2 - biến dạng tương đối của phép phân tích số trong phương pháp phần tử hữu hạn Ansys 18.2.

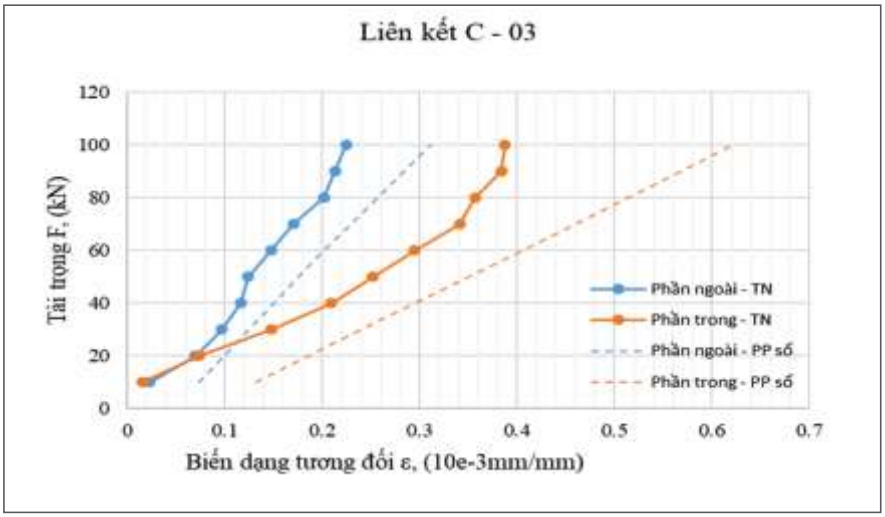
a)



b)



c)



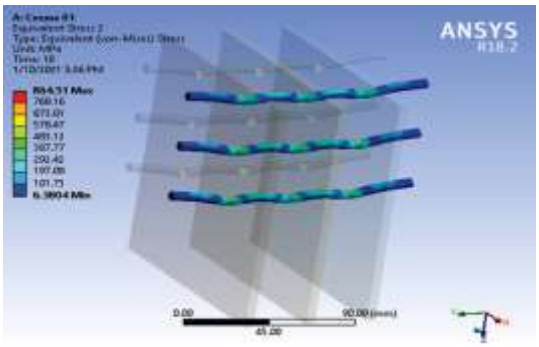
Hình 3. Quan hệ tải trọng - biến dạng tương đối thành phần gỗ dán LVL trong liên kết theo kết quả thí nghiệm(TN) và phương pháp số (PP- số): a) Sơ đồ C-01; b) C-02; c) C-03.

Sự phát triển của biến dạng tương đối khác nhau giữa các phần của kết cấu gỗ trong liên kết. Trong sơ đồ C-01 (bên ngoài ε_1 = 0,3605x10^{-3} mm/mm; bên trong ε_1 = 0,6473x10^{-3}mm/ mm) và C-03 (bên ngoài ε_1 = 0,2248x10^{-3} mm/mm; bên trong ε_1 = 0,3876x10^{-3} mm/mm) các giá trị đo được ở phần bên ngoài nhỏ hơn giá trị ở phần bên trong. Điều này là do thực tế là ở phần bên ngoài chốt thép hoạt động như một công xôn và biến dạng uốn xảy ra trong phần này. Tải trọng, ứng suất và biến dạng trong chốt thép tăng, do đó ứng suất và biến dạng trong kết cấu gỗ giảm. Ở phần bên trong, chốt đóng vai trò như một dầm và không có biến dạng uốn trong mặt cắt, do đó ứng suất truyền hoàn toàn từ chốt thép sang kết cấu gỗ dán LVL. Trong sơ đồ C-02, các giá trị của biến dạng tương đối ở phần bên ngoài (ε_1 = 0,5310x10^{-3} mm/mm) lớn hơn giá trị ở phần bên trong (ε_1 = 0,4264x10^{-3}mm/mm). Việc bổ sung một tấm thép giữa với bốn hàng chốt giảm tải trên mỗi mặt cắt. Đồng thời, biến dạng uốn xảy ra ở hàng chốt thứ tư, làm giảm ứng suất và biến dạng của các phần giữa của kết cấu gỗ.

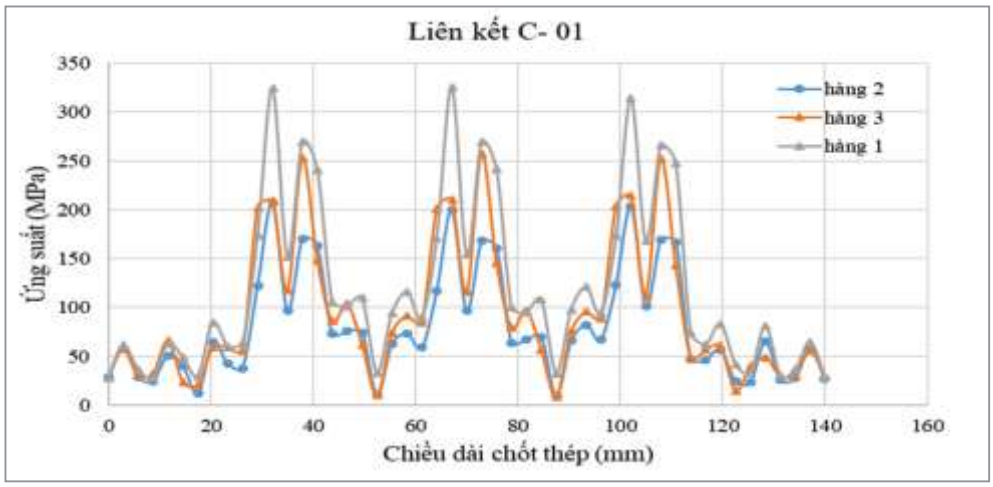
3.2. Sự phát triển cường độ và hình thành khớp dẻo dọc chiều dài chốt thép tự khoan trong liên kết «thép - gỗ»

Dựa trên phân tích ứng suất phân tố dọc theo chiều dài của chốt, có thể xác định vị trí và sự phát triển của khớp dẻo trên chốt. Trong sơ đồ C-01, các hàng chốt có cơ chế hoạt động giống nhau. Khớp dẻo xuất hiện ở ví trí tiếp xúc với phần gỗ dán phía bên ngoài (Hình 4).

a)



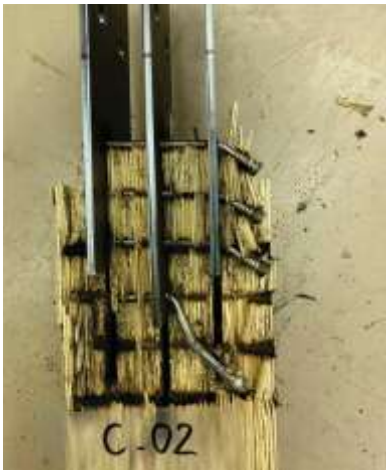
b)



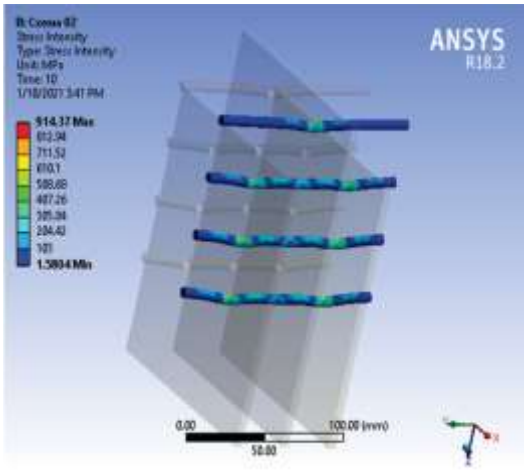
c)

Hình 4. Các phân tích Ứng suất - biến dạng cho sơ đồ C-01: a) Biến dạng của chốt thép; b) Ứng suất dọc chốt thép theo phân tích số; c) Ứng suất phân bố dọc chiều dài chốt thép tự khoan

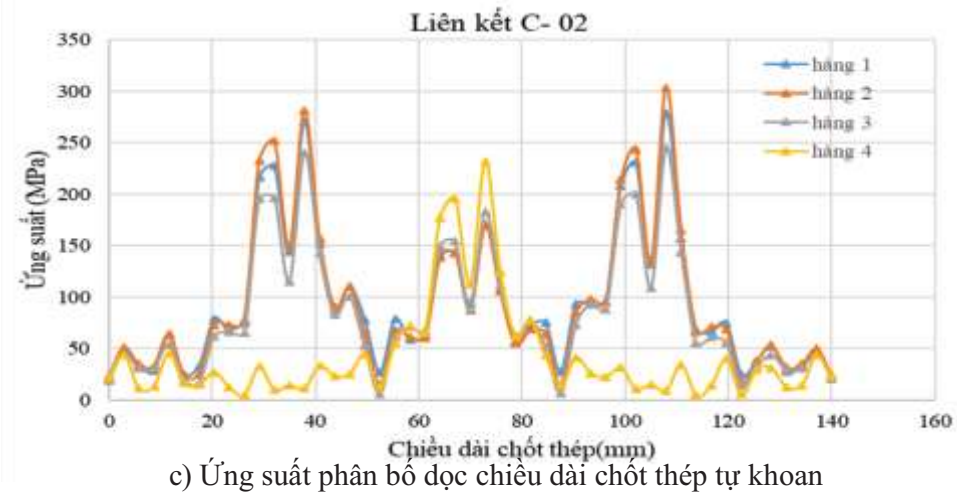
Trong sơ đồ C-02 và C-03, các hàng chân có cơ chế làm việc khác nhau. Trong sơ đồ C-02, tấm thép ở giữa với bốn hàng chốt sẽ chịu tải trọng lớn hơn, do đó tải trọng tác dụng lên các phần bên ngoài được giảm bớt và giảm độ gãy giòn của phần gỗ ở bên ngoài (Hình 5).



a) Biến dạng của chốt thép



b) Ứng suất dọc chốt thép theo phân tích số

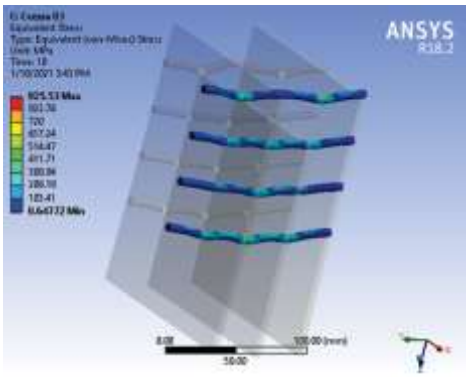


c) Ứng suất phân bố dọc chiều dài chốt thép tự khoan

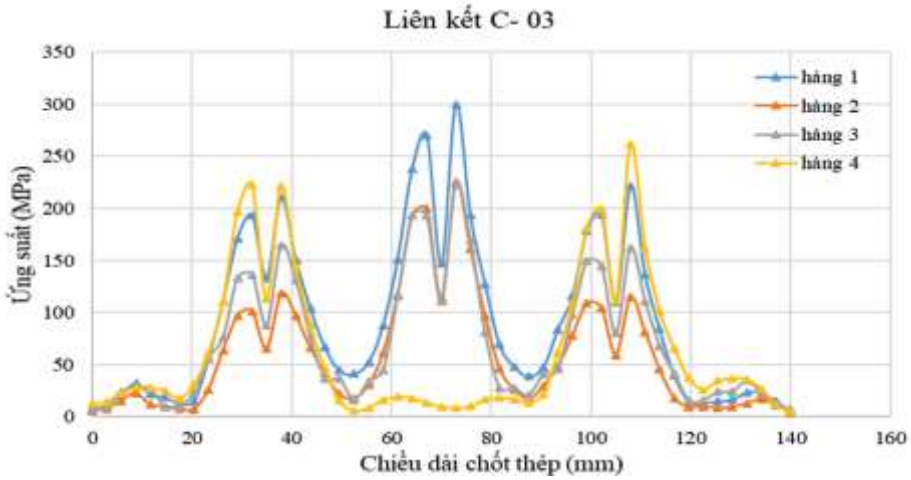
Hình 5. Các phân tích Ứng suất - biến dạng cho sơ đồ C-02

Trong sơ đồ C-03, tải trọng lớn hơn được phân bố trên các tấm thép bên ngoài, do đó làm giảm sự gãy giòn của kết cấu gỗ ở bên trong (Hình 6).

a) Biến dạng của chốt thép



b) Ứng suất dọc chốt thép theo phân tích số



c) Ứng suất phân bố dọc chiều dài chốt thép tự khoan

Hình 6. Các phân tích Ứng suất - biến dạng cho sơ đồ C-03

Ngoài ra, độ lệch cho phép giữa lỗ khoan trên tấm thép và đường kính chốt ảnh hưởng đến trạng thái ứng suất-biến dạng của liên kết cũng như thành phần gỗ dán LVL. Khi dung sai bằng không, lực cản từ chốt sẽ chống lại sự biến dạng của lỗ trên tấm thép, do đó làm giảm sự biến dạng và ứng suất kéo nén xung quanh lỗ khoan làm giảm chuyển vị tổng thể của liên kết.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này đưa ra phân tích chi tiết về cơ chế hoạt động của các thành phần trong liên kết « thép - gỗ » với các tùy biến kích thước phân bố của thép tấm trên cơ sở tính toán liên kết làm việc theo trạng thái phá hoại dẻo.

Dữ liệu mới thu được về trạng thái ứng suất - biến dạng của các thành phần liên kết sử dụng chốt tự khai thác với ba tấm thép theo phương pháp phần tử hữu hạn ANSYS 18.2 và kết quả thực nghiệm với sự trợ giúp của thiết bị đo cảm biến đo biến dạng tương đối trên bề mặt gỗ dán LVL.

Một phân tích được thực hiện về sự phụ thuộc của biến dạng, biến dạng tương đối giữa các thành phần liên kết, trong đó biến dạng uốn lớn và góc uốn lớn của các chốt làm giảm ứng suất tương đối của kết

cấu gỗ ở phần tiếp xúc. Sự biến dạng của các tấm thép ảnh hưởng đến chuyển vị tổng thể của kết nối.

Một phân tích về trạng thái ứng suất của các kết cấu gỗ được liên kết bằng các chốt thép tự khoan cho dung sai lỗ khoan nhỏ nhất đã xác nhận tính hiệu quả của các phương án đề xuất cho các liên kết « thép-gỗ » với sự phân bố ứng suất như thể hiện trong phương án C-02; C-03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Andrea Misconel, Marco Ballerini, Jan-Willem van de Kuilen (2016), *Steel to timber joints of beech LVL with very high strength steel dowels*, World Conference on Timber Engineering, Vienna University of Technoclogy. (pp. 269-276).

[2] ANSYS, Inc. Release 15.0 (2013), *Documentation for ANSYS: ANSYS Mechanical APDL Theory Reference*; ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA, USA.

[3] Hanhijärvi A., Kevarinmäki A. (2008), *Timber Failure Mechanisms in High-Capacity Dowelled Connections of Timber to Steel: Experimental results and design*, VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Publications, No. 677, URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/P677.pdf

[4] Muhammed, C. K. U., & Arya, R. (2015), *Analytical Study on Flexural Behaviour of Glued Laminated Timber,* International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4(4), 2485-2493, https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0404051

[5] Pedersen M. U. (2002), *Dowel Type Timber Connections. Strength Modelling,* Ph.D. thesis. Danmarks Tekniske Universitet, 165 p.

[6] Quenneville P., Zarnani P. (2017), *Proposal for the connection chapter of the New Zealand Design of Timber Structures*. Unpublished.

[7] Johansen K. W. . (1949), *Theory of timber connections*, International Association of Bridge and Structural Engineering, Bern, Publication No. 9. Pp. 249-262.

[8] van de Kuilen I. J.-W. (2010), *Leistungsfähigen Verbindungen für Holzbrücken - Holz-Holz und Holz-Stahl*, Internationale Holzbrückentage, 18 p

[9] Черных А.Г., Данилов Е.В., Коваль П.С., Мамедов Ш.М. (2020), *Обзор исследований, нормирования и применения LVL браса в отечественной и зарубежной строительной практике,* Вестник гражданских инженеров, № 1 (78). С. 100-106.

[10] Черных А. Г., Чан Куок Фонг (2020), *Анализ несущей способности соединения с применением самонарезающих нагелей в различных моделях пластического разрушения*, Вестник гражданских инженеров, № 4 (81). С. 89-99.

[11] Чан Куок Фонг (2020), *Анализ различных моделей разрушения соединений «сталь - дерево» с самонарезающими нагелями*, Вестник гражданских инженеров, № 5 (82). С. 72-81

[12] С. И Рощина, Е. А. Симирнов, М. В. Грязнов (2010), *Методические указания к лабораторным работам по конструкциям из дерева и пластмасс*, Владимир.

Ghi chú: *Bài báo là sản phẩm của đề tài khoa học cấp cơ sở Trường Đại học Quảng Bình năm học 2021-2022 mã số CS.09.2022.*

Liên hệ:
TS. Trần Quốc Phong
Khoa Kỹ thuật - Công nghệ thông tin, Trường Đại học Quảng Bình
Địa chỉ: 312 Lý Thường Kiệt, thành phố Đồng Hới, tỉnh Quảng Bình
Email: tranqp125@gmail.com

Ngày nhận bài:
Ngày gửi phản biện:
Ngày duyệt đăng: