



EXPERIMENTAL STUDY BOTH OF FLEXURAL AND SHEAR BEHAVIOUR OF BOLTED CONNECTIONS IN COLD FORMED THIN –WALLED STEEL STRUCTURES

Do Van Binh

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 9/2/2020

Revised: 19/3/2020

Accepted: 20/3/2020

Published online: 24/4/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.3>

* *Corresponding author*

Email: dvbinh@utc.edu.vn; Tel: 0903289858

Abstract. An experimental study of bolted connections between cold-formed thin-walled steel members, formed by using brackets bolted to the webs of the section under both flexural and shear loads is showed in this paper. It is demonstrated that there is good agreement between the yield and ultimate load capacity of the bolted connection using the finite element method and experimental study. The research results show that when the bolt numbers, section dimensions and materials in the bolted connection are not changed, if the distances between the centroids of bolts along the direction of member are increased, the ultimate load capacity is also increased significantly.

Keywords: Experimental study, bolted connection, bracket, flexural and shear, thin-wall steel, cold formed.

© 2020 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM LIÊN KẾT BU LÔNG CHỊU UỐN VÀ CẮT ĐỒNG THỜI TRONG KẾT CẤU THÉP THÀNH MỎNG TẠO HÌNH NGUỘI

Đỗ Văn Bình

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 9/2/2020

Ngày nhận bài sửa: 19/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 20/3/2020

Ngày xuất bản Online: 24/4/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.3>

* Tác giả liên hệ

Email: dvbinh@utc.edu.vn; Tel: 0903289858

Tóm tắt. Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm liên kết bu lông trong cấu kiện thép thành mỏng tạo hình nguội (TMTHN) sử dụng bản mã để liên kết các bản bụng của tiết diện chịu tác dụng uốn và cắt đồng thời. So sánh kết quả thực nghiệm về giới hạn bền của liên kết tính theo mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) là khá phù hợp. Các kết quả của nghiên cứu cho thấy khi số lượng bu lông, các thông số vật liệu và tiết diện không đổi nhưng tăng khoảng cách bu lông theo chiều dài liên kết thì giới hạn bền uốn cũng tăng đáng kể.

Từ khóa: Thực nghiệm, liên kết bu lông, bản mã, chịu uốn và chịu cắt đồng thời, thép thành mỏng, tạo hình nguội.

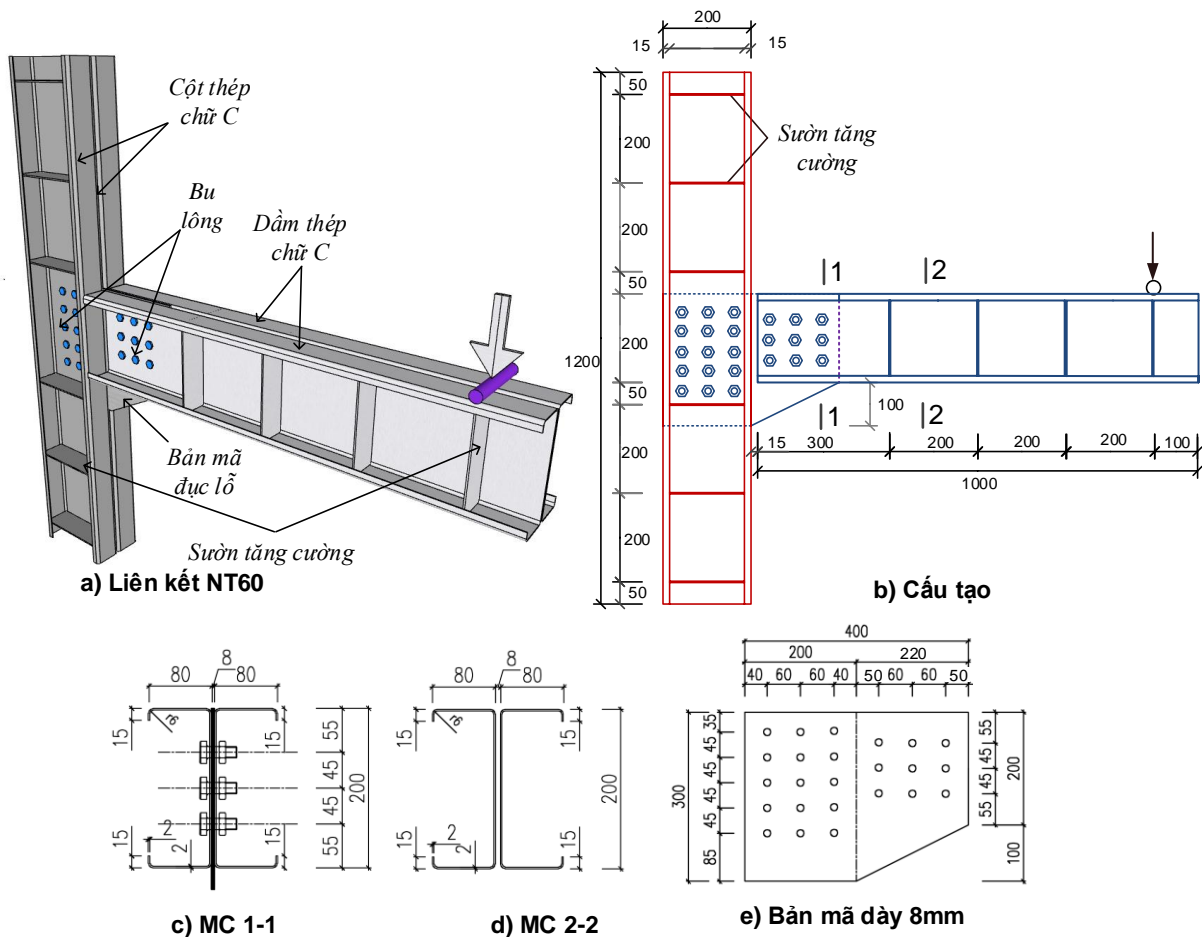
© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu thép TMTHN hình thành từ các tấm thép mỏng (từ 0,3 đến 3 mm) với ưu điểm chính là trọng lượng nhẹ, tuy nhiên sự làm việc khá phức tạp của kết cấu thép TMTHN khác với kết cấu thép thông thường là các trạng thái mất ổn định khác nhau. Hiện nay tại nước ta tài liệu tính toán và thiết kế kết cấu thép TMTHN là rất ít và chủ yếu theo tiêu chuẩn AS/NZS 4600:1996, 2005 [1].

Các liên kết là một phân quan trọng trong kết cấu xây dựng nói chung và trong kết cấu

thép TMTHN nói riêng. Đối với kết cấu thép TMTHN phổ biến là liên kết bu lông so với sử dụng liên kết hàn. Tuy nhiên, trong các Tiêu chuẩn quy phạm nói trên chỉ đề cập tập trung trong các dạng liên kết bu lông chịu lực dọc trục mà chưa đề cập cụ thể chịu mô men uốn [1, 2, 3]. Một số tác giả đã nghiên cứu về sự làm việc của liên kết bu lông chịu uốn nhưng chủ yếu trong kết cấu thép thông thường [5,6]. Gần đây, tác giả cũng đã trình bày nghiên cứu liên kết bu lông trong kết cấu thép TMTHN chịu uốn thuần túy trong tài liệu [7,8] và nghiên cứu liên kết bu lông trong kết cấu thép TMTHN chịu uốn và cắt đồng thời theo lý thuyết và mô hình hóa bằng phương pháp PTHH trong tài liệu [9,10]. Trong bài báo này đề cập nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của liên kết bu lông trong kết cấu thép TMTHN chịu uốn và cắt đồng thời nhằm mục đích so sánh và đánh giá với các kết quả nghiên cứu theo PTHH. Đồng thời nghiên cứu cũng xem xét các trạng thái giới hạn của liên kết bu lông có thể xảy ra khi thay đổi khoảng cách giữa các bu lông. Các so sánh và đánh giá thông qua các kết quả tính toán về giới hạn chảy dẻo, giới hạn bền của liên kết bu lông cũng được phân tích.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết mẫu thí nghiệm và sơ đồ gia tải NT60 -EXP.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM LIÊN KẾT BU LÔNG CHỊU MÔ MEN UỐN VÀ LỰC CẮT TRONG CẤU KIỆN THÉP THÀNH MỎNG TẠO HÌNH NGUỘI

2.1. Vật liệu và các đặc trưng cơ học của mẫu thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, các dầm vật liệu thép CT3 dày 2 mm định hình nguội đã được chế

hai mẫu thực nghiệm đặt tên NT45-EXP và NT60-EXP. Bên cạnh đó, thép tấm CT3 dày 8 mm dùng để gia công bản mã trong liên kết. Các liên kết sử dụng bu lông thường cấp 46, M14 (đường kính 14 mm). Các sườn gia cố được liên kết thông qua mối nối hàn. Tất cả các vật liệu được mua tại thị trường Việt Nam.

Để xác định đặc trưng cơ học của thép tấm CT3, các mẫu kéo thép tấm theo tiêu chuẩn để xác định cường độ chịu kéo được cắt và gia công từ vật liệu thép sử dụng gia công mẫu thực nghiệm được thí nghiệm gia tải kéo dọc trục trên máy kéo nén SANS tại Đại học Giao thông Vận tải. Giá trị trung bình của giới hạn chảy và giới hạn bền lần lượt là 258 MPa và 368 MPa.

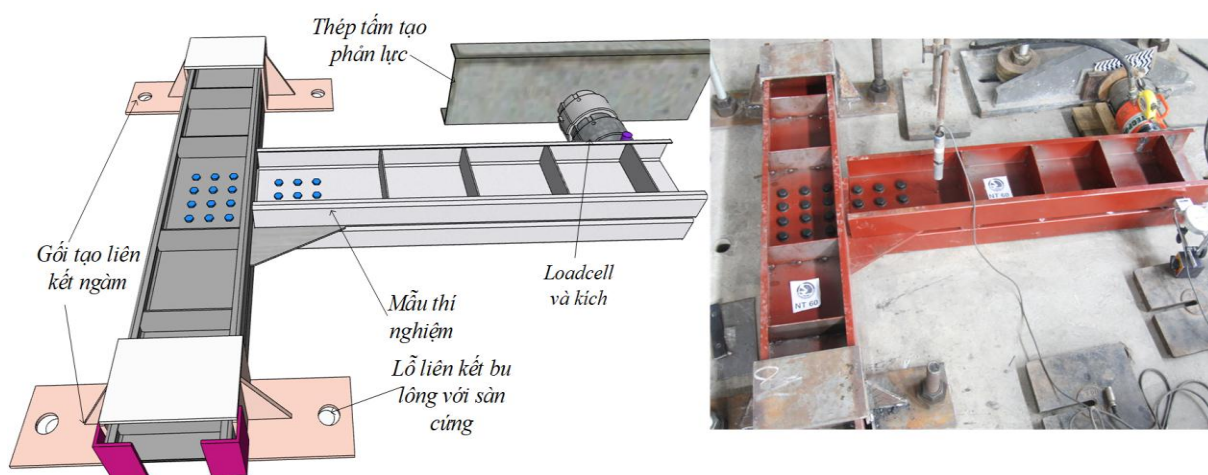
2.2. Gia công và chuẩn bị các mẫu thực nghiệm

Hai mẫu NT45-EXP và NT60-EXP có kích thước và vị trí gia tải của hai mẫu như nhau thể hiện trên Hình 1. Hai mẫu chỉ khác nhau khoảng cách tim bu lông thuộc phần dầm trên bản mã: Mẫu NT45-EXP có khoảng cách tim bu lông theo phương trục dầm là 45 mm, còn mẫu NT60-EXP có khoảng cách tim bu lông theo phương trục dầm là 60 mm.

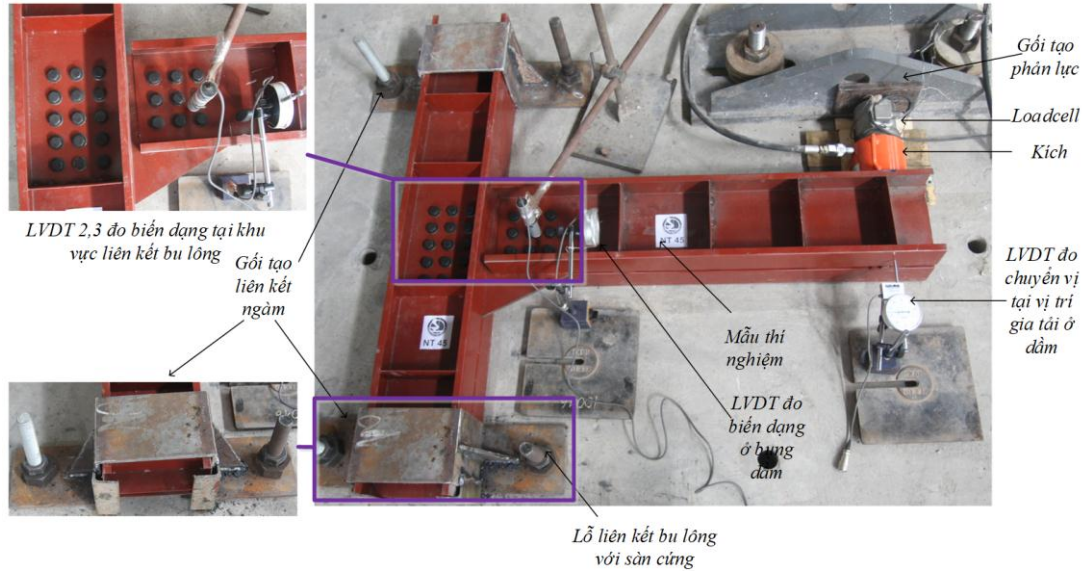
Quá trình gia công mẫu theo kích thước như Hình 2 được chế tạo và thực hiện thực nghiệm tại Phòng Thí nghiệm Vật liệu và Kết cấu xây dựng, Trường Đại học Giao thông Vận tải. Các bu lông M14, cấp 46 được xiết vừa đủ lực để không tạo ra sự ép chặt quá mức giữa các bản thép và không để bu lông chịu lực kéo nên sử dụng dụng cụ cờ - lê mô men với mô men xác định là 25 Ncm.

2.3. Mô hình thực nghiệm và phương pháp gia tải

Các mẫu thực nghiệm NT45-EXP và NT60-EXP được gia công và kiểm tra kỹ lưỡng về kích thước theo yêu cầu như Hình 1. Sau đó, các mẫu thí nghiệm được đặt nằm và liên kết trên sàn cứng, với mục tiêu hạn chế mất ổn định ngoài mặt phẳng cho mẫu kết cấu. Các mẫu được liên kết với sàn cứng thông qua hai bộ gối tạo liên kết ngàm tại vị trí 2 đầu cột như thể hiện trên sơ đồ Hình 2 và triển khai tại Phòng thí nghiệm như trên Hình 4. Chi tiết bố trí thực nghiệm cho hai mẫu NT45-EXP và NT60-EXP được thể hiện ở Hình 3.



Hình 2. Lược đồ mô hình thực nghiệm và thiết lập cho liên kết NT60-EXP.

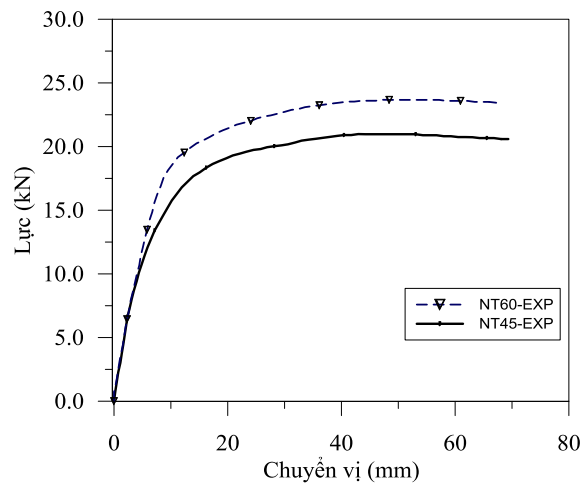


Hình 3. Chi tiết cấu tạo thí nghiệm cho liên kết NT45 –EXP.

Tại vị trí gia tải, kích tay và loadcell được gắn với thép tấm tạo phản lực, gia tải theo phương pháp không chế bằng lực cho đến khi phá hoại hoặc mẫu liên kết bị mất ổn định (Hình 2, 3). Thiết bị đo lực (load cell) được gắn vào mặt trên của dầm thép để đo giá trị lực tác dụng. Thiết bị đo chuyển vị LVDT 1 được gắn vào bề mặt dưới của dầm, đầu của LVDT1 đặt cố định vuông góc với mẫu dầm để đo chuyển vị tại vị trí đầu dầm. Dụng cụ LVDT 2 và LVDT 3 được gắn ở mặt ngoài của bụng dầm tại khu vực có liên kết bu lông để xác định biến dạng cục bộ (nếu có) của liên kết trong quá trình thực nghiệm (Hình 3).

2.4. Kết quả thực nghiệm và đánh giá

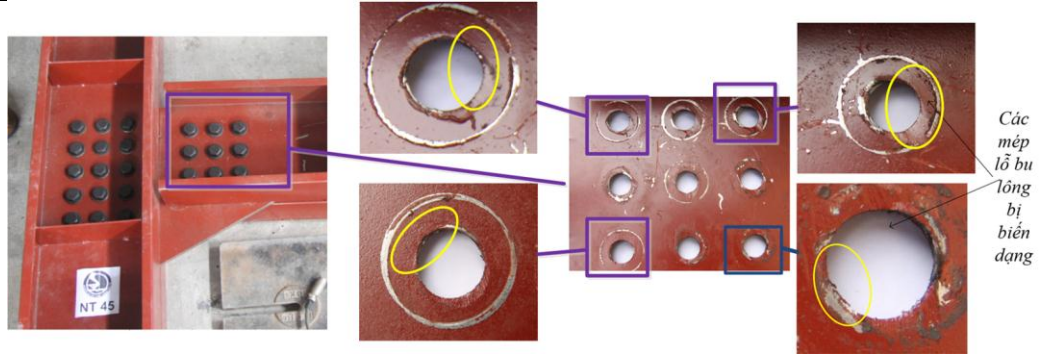
Quá trình gia tải cho đến khi mẫu thí nghiệm không còn khả năng chịu lực. Trên Hình 4 là kết quả quan hệ Lực –Chuyển vị tại vị trí đặt lực P của 2 mẫu thực nghiệm NT45-EXP và NT60-EXP. Trạng thái phá hoại mất khả năng chịu lực của mẫu NT45-EXP và NT60-EXP được thể hiện trên ảnh Hình 5 và Hình 6. Các số liệu kết quả thực nghiệm về giới hạn chảy và giới hạn bền của 2 mẫu được thể hiện trong Bảng 1.



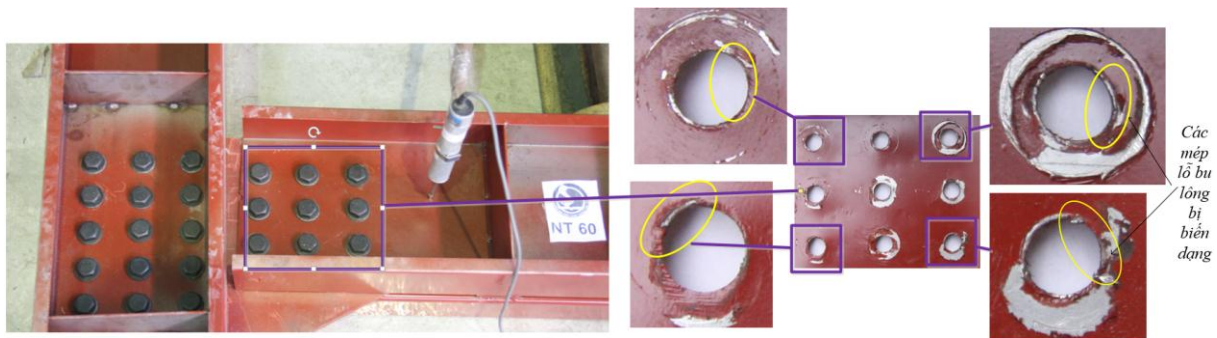
Hình 4. Kết quả quan hệ Lực-Chuyển vị mẫu NT45-EXP và NT60-EXP.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm của mẫu liên kết.

Mẫu	Tải trọng giới hạn chảy P_y (kN)	Tải trọng giới hạn bền P_u (kN)
NT45-EXP	14,2	20,97
NT60-EXP	17,2 (tăng 21,1% so với NT45-EXP)	23,67 (tăng 12,8% so với NT45-EXP)



Hình 5. Trạng thái phá hoại và chảy dẻo tại các lỗ bu lông của mẫu NT45-EXP.



Hình 6. Trạng thái phá hoại và chảy dẻo tại các lỗ bu lông của mẫu NT60-EXP.

Bảng 1 cho thấy khi tăng khoảng cách bu lông theo chiều dọc dầm thì khả năng chịu lực cũng tăng theo. Tỷ lệ tăng 21,1% và 12,8% đối với P_y và P_u khi so sánh kết quả thí nghiệm mẫu NT45-EXP và NT60-EXP. Sau thí nghiệm, các chi tiết của liên kết được tháo rời để xem xét trạng thái phá hoại của các chi tiết trong liên kết. Kết quả cho thấy trạng thái chảy dẻo xung quanh lỗ bu lông (tập trung tại các lỗ biên) cho cả hai mẫu là khá rõ trên Hình 5 đối với mẫu NT45-EXP và Hình 6 đối với mẫu NT60-EXP. Kết quả thiết bị đo LVDT 2, 3 (đo tại vị trí bản bụng dầm có bu lông) cho thấy không có chuyển vị, nghĩa là tại vị trí liên kết bản bụng dầm không bị mất ổn định và biến dạng cục bộ. Đối với bản mã dày 8 mm cũng cho thấy các mép lỗ không bị cháy (Hình 7).

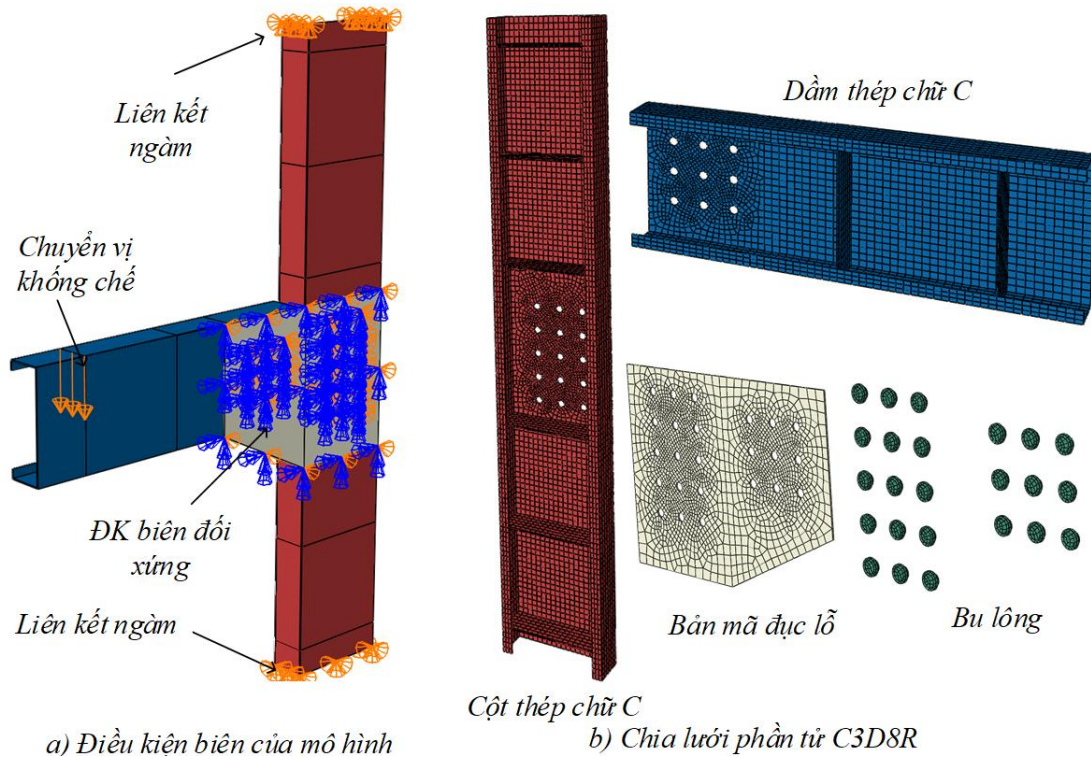


Hình 7. Bản mã trong mẫu NT60-EXP sau khi thực nghiệm không bị biến dạng.

3. MÔ HÌNH HÓA BẰNG PHẦN TỬ HỮU HẠN

Để so sánh với kết quả thực nghiệm, các mô hình bằng phương pháp PTHH bằng chương trình ABAQUS 6.12 được mô phỏng tương tự với 2 mô hình đã thực nghiệm. Hai mô hình này được đặt tên là NT45-FEM và NT60-FEM [9, 10].

3.1. Mô hình phần tử hữu hạn



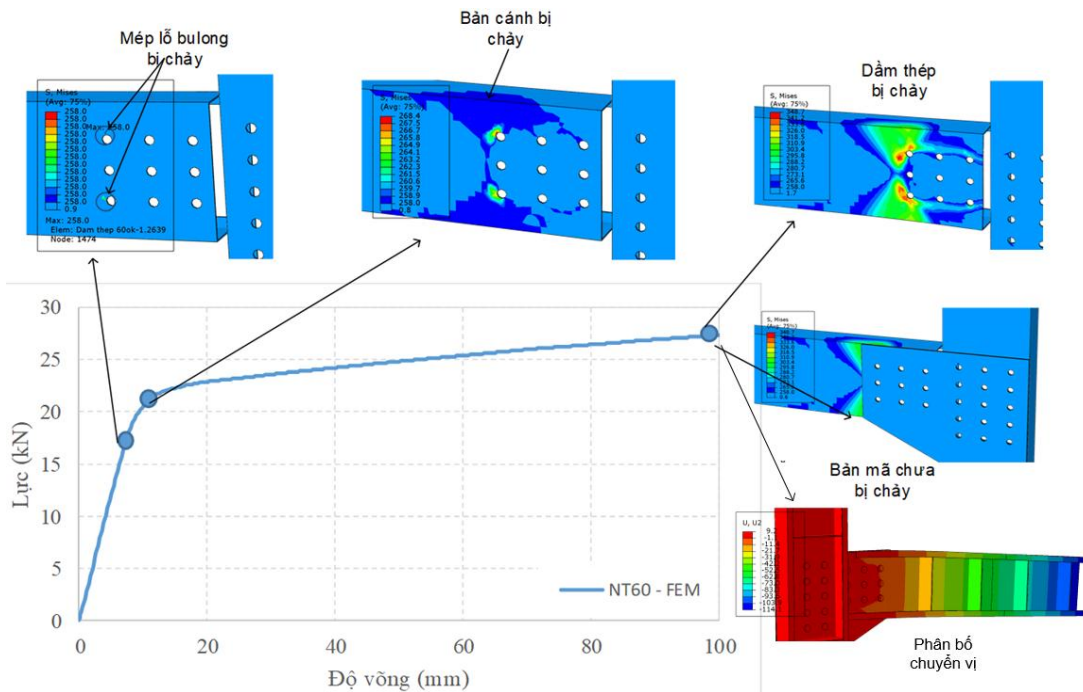
Hình 8. Mô hình PTHH cho liên kết NT45-FEM.

Do tính chất đối xứng về kết cấu và tải trọng nên chỉ một nửa kết cấu được mô phỏng, thể hiện ở Hình 8. Điều kiện biên đối xứng được gán vào mặt đối xứng của nút thép, tương ứng với mặt đối xứng của bu lông và bản mã. Liên kết được gia tải bằng phương pháp không chế về chuyển vị cho đến khi liên kết bị phá hoại hoặc bị mất ổn định. Phần tử C3D8R trong thư viện vật liệu của phần mềm ABAQUS được sử dụng để rời rạc mô hình là dạng phần tử khối 3 chiều, 8 nút tuyến tính được gán cho các phần tử dầm thép và nút thép chữ C, bản mã và bu lông. Kích thước mắt lưới tổng thể là 5 mm, trong đó có một số phần tử ở khu vực cục bộ được chia nhỏ nhất là 2 mm (Hình 8).

Mô hình đàn hồi dẻo được sử dụng để mô phỏng tính chất vật liệu của thép. Mô hình liên kết được tổ hợp hoàn chỉnh từ các phần (parts) riêng lẻ thông qua khai báo ràng buộc (constraint) thích hợp giữa các phần. Các phần này được lắp ghép đúng vị trí, và các tất cả mặt tiếp xúc với nhau được gán mô hình tiếp xúc cứng (“hard” contact). Với mô hình tiếp xúc cứng này, các mặt tiếp xúc không truyền áp lực lên nhau, trừ khi các mặt thụ động (slave surface) tương tác trực tiếp với các mặt chủ động (master surface). Đồng thời, các bề mặt này không thể xâm nhập (penetration) vào nhau. Mô hình tiếp xúc này rất phù hợp để thể hiện sự tương tác giữa các bản thép với nhau.

3.2. Kết quả tính toán theo mô hình PTHH

Trên Hình 9 thể hiện: Kết quả quan hệ lực tác dụng và độ võng giữa nhịp của liên kết, phổ phân bố ứng suất Von-Mises theo các mức tải trọng khác nhau và chuyển vị tại đầu dầm 100mm của NT60-FEM. Lực tác dụng tăng gần như tuyến tính cho đến khi xuất hiện vị trí thép bị chảy ở mức tải trọng 17,5 kN, tại vị trí cục bộ ở khu vực mép lỗ bu lông. Quan sát trên phổ phân bố ứng suất ta nhận thấy rằng, lỗ bu lông trên bản mã bị chảy dẻo đầu tiên do trạng thái ép trời, dẫn tới giảm yếu bản mã, làm giảm độ cứng của liên kết. Tại thời điểm lực tác dụng xấp xỉ 22,1 kN, ở thớ trên và thớ dưới của bản mã, cũng như cánh trên và cánh dưới của dầm chữ C đã xuất hiện biến dạng chảy.



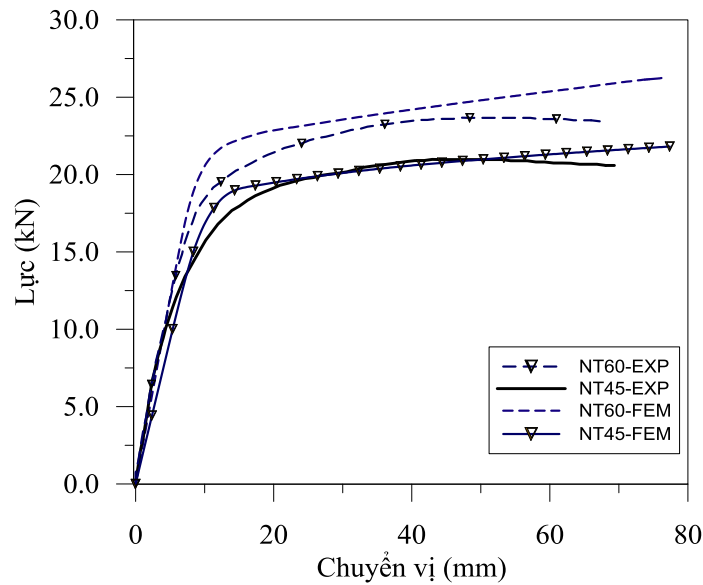
Hình 9. Quan hệ Lực – Chuyển vị của liên kết NT60- FEM và trạng thái ứng suất Von-Mises.

Khi độ võng đạt mức 100 mm, lực tác dụng đạt đến giá trị 27,3 kN, hầu hết tiết diện của bản mã và dầm thép chữ C đã bị chảy. Tại thời điểm này, dòng ứng suất xung quanh vị trí lỗ bu lông của dầm thép cũng đã đạt đến giới hạn chảy. Điều này có thể được giải thích là mép lỗ bu lông bị chảy dẻo trước do lực ép từ thân bu lông lên lỗ, dẫn đến bản bụng bị giảm yếu và bản cánh chịu nén cũng đạt tới giới hạn chảy. Tuy nhiên, bản mã có chiều dày 8 mm chưa bị chảy.

3.3 So sánh giữa kết quả thực nghiệm với kết quả theo mô hình phần tử hữu hạn

+ Đồ thị quan hệ Lực – Chuyển vị của hai mẫu thực nghiệm NT45-EXP và NT60-EXP so sánh với hai mô hình tính theo phần tử hữu hạn NT45-FEM và NT60-FEM trong tài liệu [9,10] được so sánh trên Hình 10 cho thấy khá phù hợp .

+ Các số liệu so sánh về giới hạn chảy và giới hạn bền đối với tải trọng và mô men uốn của liên kết bu lông chịu uốn và chịu cắt của các mẫu tính theo mô hình PTHH và thực nghiệm được thể hiện trên Bảng 2.

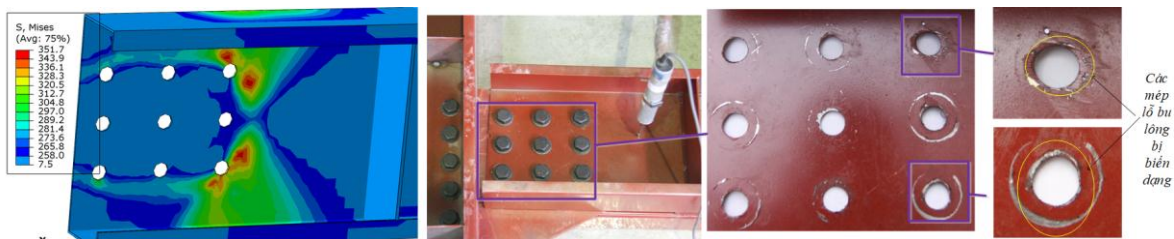


Hình 10. So sánh kết quả lực- chuyển vị theo thực nghiệm và PTHH.

Bảng 2. So sánh các kết quả mô hình PTHH và thực nghiệm.

So sánh	Mẫu	P_y (KN)	P_u (KN)	M_y (KNcm)	M_u (KNcm)
Mô hình PTHH (ABAQUS)	NT- 45 FEM	18,60	22,40	1674	2016
	NT- 60 FEM	22,10	27,30	1989	2457
Thực Nghiệm	NT- 45 EXP	14,20	14,20	1278	1548
	NT- 60 EXP	20,97	23,67	1887	2130

+ Đối với liên kết NT45-FEM và NT60-FEM cho thấy khoảng cách tim bu lông là 45 mm và 60 mm > 3d = 42 mm nên trạng thái phá hoại liên kết dạng cắt dọc tấm không xảy ra mà trạng thái dẫn đến chảy dẻo xung quang lỗ bu lông do ép trôi bản bụng (Hình 11) khiến bản bụng bị giảm yếu và cánh chịu nén đạt dần đến giới hạn chảy dẫn đến liên kết bị phá hoại khi tải trọng tăng dần. Qua quan sát trên mẫu sau thí nghiệm được tháo rời các chi tiết cũng cho thấy trạng thái này cũng xuất hiện tương tự trên các mép lỗ quanh bu lông ở bản bụng (Hình 5, 6 và 11).



Hình 11. So sánh biến dạng của liên kết tại mép các lỗ bu lông.

+ Từ kết quả trình bày trong Bảng 2 cho thấy các giới hạn chảy và giới hạn bền đối với

tải trọng và mô men uốn của từng liên kết nút thép theo thực nghiệm nhỏ hơn so với tính theo mô hình PTHH từ 3,5 % đến 18,7 %.

4. KẾT LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu này có thể rút ra một số kết luận sau:

+ Liên kết bu lông trong kết cấu TMTHN chịu đồng thời mô men và lực cắt bị phá hoại xuất phát là do mô men uốn gây ra trước khi bị phá hoại do lực cắt.

+ Các kết quả tính toán giới hạn chảy và giới hạn bền đối với tải trọng và mô men uốn so sánh theo thực nghiệm và PTHH là đáng tin cậy, tương đồng và phù hợp.

+ Khi tăng khoảng cách giữa các bu lông từ 45 mm đến 60 mm thì các giới hạn chảy và giới hạn bền đối với tải trọng và mô men uốn cũng đều tăng lên (tăng trung bình 32,4 %).

+ Đối với liên kết bu lông có bản mã có chiều dày lớn hơn chiều dày bản bụng sẽ có khả năng tăng độ cứng của liên kết và các lỗ bu lông trên bản mã không bị phá hoại trước so với các lỗ bu lông trên bản bụng dầm.

+ Trong thiết kế tăng khoảng cách tim bu lông theo phương dọc trục dầm có xu hướng tăng khả năng chịu mô men uốn, tuy nhiên cần xem xét đến khả năng mất ổn định cục bộ của bản bụng tại vị trí khoảng cách giữa hai bu lông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Australia/New Zealand Standard, Cold- formed steel structures.AS/NZS 4600:1996, Australia, 2005. <https://www.standards.org.au/standards-catalogue/sa-snz/building/bd-082/as-slash-nzs--4600-1996>
- [2]. BS 5950 Part 5, Code of practice for design of col-formed section, London, British Standards Institution, 1998.
- [3]. Hancock, J. Gregory 998, Design of Cold form steel structures.Australia Institute of Steel Construction, 1998.
- [4]. Đoàn Định Kiến, Thiết kế kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, NXB Xây dựng, 2011.
- [5]. J. B. P. Lim, D.A. Nethercot, F.E.- assisted design of the eaves bracket of a cold- formed steel portal frame, Steel and Composite Structures, 2 (2002) 411-428. <https://doi.org/10.12989/scs.2002.2.6.411>
- [6]. K.F. Chung, L. Lau, Experimental investigation on bolted moment connection in cold-formed steel beam-column sub frames, Proceedings of the Fifteenth International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures, Rolla, MO, USA, p. 607-618, 2000. <http://ira.lib.polyu.edu.hk/handle/10397/48333>
- [7]. Đỗ Văn Bình, Nguyễn Huy Cường, Nghiên cứu ứng xử của liên kết bu lông chịu mô men uốn trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, Báo cáo đề tài NCKH, Đại học GTVT, MS: T2016-VKTXD-17, 2016.
- [8]. Đỗ Văn Bình, Nguyễn Huy Cường, Nghiên cứu trạng thái giới hạn chịu uốn của liên kết bu-lông trong kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 54 (2016) 8-13. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/7348>
- [9]. Đỗ Văn Bình, Đỗ Văn Linh, Nghiên cứu trạng thái ứng xử chịu uốn và chịu cắt đồng thời của liên kết bu-lông trong cấu kiện thép thành mỏng tạo hình nguội, Tạp chí Kết cấu và Công nghệ Xây dựng, 28 (2018) 8 trang.
- [10]. Đỗ Văn Bình, Nguyễn Huy Cường, Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm ứng xử liên kết bu-lông chịu mô men uốn và lực cắt của kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội, Báo cáo đề tài NCKH, Đại học GTVT, MS:T2018-XD-09, 2018. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/5715>